

**ANDRÉ CAMARGO GUEDES RODRIGUES**

**UM MODELO PARA A ENGENHARIA  
DE CONTROLE NO BRASIL**

**FLORIANÓPOLIS**

**2004**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**UM MODELO PARA A ENGENHARIA  
DE CONTROLE NO BRASIL**

Tese submetida à  
Universidade Federal de Santa Catarina  
com parte dos requisitos para a  
obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica

**ANDRÉ CAMARGO GUEDES RODRIGUES**

Florianópolis, abril de 2004

# UM MODELO PARA A ENGENHARIA DE CONTROLE NO BRASIL

André Camargo Guedes Rodrigues

‘Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Automação e Sistemas, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina.’

---

Augusto Humberto Bruciapaglia, Dr.  
Orientador

---

Jefferson Luiz Brum Marques, PhD.  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

---

Augusto Humberto Bruciapaglia, Dr.

---

Marcos Azevedo da Silveira, Dr.

---

Francisco José Gomes, Dr.

---

Walter Antonio Bazzo, Dr.

---

Jean-Marie Farines, Dr.

---

Ubirajara Franco Moreno, Dr.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho, iniciado em 1998, contou com o suporte acadêmico e afetivo de várias pessoas, às quais não posso deixar de dedicá-lo e nominalmente agradecer:

- Primeiramente a Deus, que os colocou em meu caminho;
- Ao Curso de Engenharia de Controle e Automação, na figura daqueles que fazem parte de sua história, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico brasileiro e para minha formação enquanto engenheiro;
- Ao Laboratório de Software Educacional, na figura do professor Luiz Fernando Bier Melgarejo, pelo interesse e dedicação na formação de seus participantes e em particular pelo espírito crítico e criativo que me foi permitido aperfeiçoar, além do recente apoio técnico desinteressado para o desenvolvimento desta tese;
- À Pós-graduação em Engenharia Elétrica da UFSC, na figura de seus professores, servidores e colegas pesquisadores, por sua excelência acadêmica;
- Ao professor Walter Antônio Bazzo, pelo entusiasmo e eficácia com que defende o aprimoramento de nossas instâncias de formação em engenharia;
- Aos professores Marcos Azevedo da Silveira, Arden Zylbersztajn e Alberto Oscar Cupani, por contribuições fundamentais para a definição das estratégias de pesquisa;
- Ao professor Julio Elias Normey Rico, pela liberdade na aplicação da EVC;
- Particularmente ao meu orientador e articulador deste trabalho, professor Augusto Humberto Bruciapaglia, por sua confiança, paciência e pelo extraordinário apoio, além das inúmeras e profícuas horas de conversa, que foram os eixos de equilíbrio e acomodação da tese;
- Carinhosamente aos meus amigos (parentes ou não), que me incentivaram neste projeto, rezando pelo seu sucesso e estando sempre ao meu lado em sua realização;
- E... especialmente a minha esposa, Vanessa, pelo amor, dedicação, renúncia e companheirismo com que tem perfumado a minha vida.

**Obrigado a todos!**

Resumo da Tese apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários  
para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica

## **UM MODELO PARA A ENGENHARIA DE CONTROLE NO BRASIL**

**André Camargo Guedes Rodrigues**

Abril/2004

Orientador: Augusto Humberto Bruciapaglia, Dr.

Área de Concentração: Automação e Sistemas

Palavras-chave: Controle, Engenharia, Ensino, Epistemologia

Número de Páginas: 176

**RESUMO:** A engenharia de Controle tem no Brasil uma situação diferenciada em relação a outros países, com uma habilitação específica regulamentada pelos órgãos educacional e profissional, em reconhecimento à relevância da área e de sua principal aplicação, a automação, para a tecnologia atual. Diante deste contexto e da falta de estudos aprofundados sobre essa engenharia recente, ainda fortemente dependente de cursos clássicos, esta tese objetiva definir bases racionais adequadas para seu processo pedagógico, tendo como referência a realidade brasileira e as esparsas pesquisas disponíveis (estudos complementares são apresentados). Tais bases são desenvolvidas através de modelos epistemológico e pedagógico, que tratam, respectivamente, das relações coletivas e individuais com o conhecimento, sustentando-se em um arcabouço filosófico consistente e bem definido. O modelo epistemológico situa o conhecimento em controle, definindo sua natureza e dinâmica, e caracterizando os aspectos experimentais e aplicados. O pedagógico, por sua vez, parte do epistemológico para representar as relações pedagógicas do curso e indicar princípios a serem buscados em sua formação. A partir dos modelos são realizados estudos transversais que os corroboram, estendendo-os principalmente sobre nossa realidade de formação. Por último, é aprofundada a questão da síntese curricular, com a indicação de corolários que podem orientar os colegiados dos cursos na definição das estratégias pedagógicas e dos objetos de formação locais. A tese procura atender, deste modo, seu objetivo implícito de sistematizar, em torno de um eixo racional próprio, os conhecimentos relacionados à formação em engenharia de controle, catalisando o desenvolvimento da comunidade [nacional].

Abstract of Dissertation (Thesis) presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Electrical Engineering.

## **A MODEL FOR THE BRAZILIAN CONTROL ENGINEERING**

**André Camargo Guedes Rodrigues**

April/2004

Adviser: Augusto Humberto Bruciapaglia, Dr.  
Area of Concentration: Automation and Systems  
Keywords: Control Education, Control Engineering  
Number of Pages: 176

**ABSTRACT:** When compared to other countries, Brazilian Control Engineering can be distinguished by having a specific program that is normalized by educational and professional regulatory offices. This program expresses the importance of control and its main application, automation, to the current technology. Due to the lack in research on control engineering education, that still is heavily dependent on classical engineering education, this thesis aims to define proper rational foundations to the pedagogical debate considering the Brazilian context and a few sparse related studies (complementary studies are performed). Such foundations are established through epistemological and pedagogical models, related respectively to the collective and individual cognitive relations, and sustained by a congruous and well-defined philosophical core. The epistemological model situates control knowledge by defining its nature and developing pattern, and identifying its experimental and applied aspects. The pedagogical model starts from the epistemological in order to represent the pedagogical relations of control engineering education, and to set standards to be accomplished. Transversal studies are then provided to corroborate the models and to stretch them over the considered reality. Finally, the curriculum synthesis context is discussed and related corollaries are presented with the purpose of supporting the programs in their task of defining local learning objects and pedagogical strategies. In this way, this thesis tries to achieve its tacit mission of systematizing, around a specific rational axis, knowledge related to control engineering education, catalyzing thus the development of the [Brazilian] community.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ESTUDO EPISTEMOLÓGICO .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Controle .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2</b>	<b>Natureza do Conhecimento em Controle .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>Controle Automático .....</b>	<b>14</b>
2.3.1	Perspectivas do Conhecimento .....	15
2.3.2	Produção Acadêmica .....	19
2.3.3	Processo de Construção do Conhecimento.....	21
<b>2.4</b>	<b>Modelo Epistemológico .....</b>	<b>25</b>
2.4.1	Um Esquema do Modelo .....	30
<b>2.5</b>	<b>Considerações Finais .....</b>	<b>32</b>
<b>3</b>	<b>ESTUDO PEDAGÓGICO .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1</b>	<b>Formação em Engenharia.....</b>	<b>34</b>
<b>3.2</b>	<b>Engenharia de Sistemas .....</b>	<b>36</b>
<b>3.3</b>	<b>Questão Curricular.....</b>	<b>40</b>
3.3.1	Aspectos Epistemológicos.....	44
3.3.2	Aspectos Metodológicos .....	50
3.3.3	Estruturas Curriculares de Referência.....	55
<b>3.4</b>	<b>Formação em Engenharia de Controle.....</b>	<b>60</b>
3.4.1	Ensino Metafísico .....	64
<b>3.5</b>	<b>Modelo Pedagógico .....</b>	<b>70</b>
3.5.1	Hipóteses Pedagógicas Gerais .....	70
3.5.2	Ensino de Engenharia .....	73
3.5.3	Realidade do Ensino de Engenharia de Controle .....	74
3.5.4	Princípios para o Ensino de Engenharia de Controle .....	77
<b>3.6</b>	<b>Considerações Finais .....</b>	<b>82</b>
<b>4</b>	<b>QUESTÕES TRANSVERSAIS.....</b>	<b>84</b>
<b>4.1</b>	<b>Interdisciplinar x Sistêmico .....</b>	<b>84</b>
<b>4.2</b>	<b>O Papel da Tecnologia da Informação.....</b>	<b>86</b>
<b>4.3</b>	<b>Pesquisa em Controle .....</b>	<b>89</b>
<b>4.4</b>	<b>Laboratório .....</b>	<b>91</b>
<b>4.5</b>	<b>Formação Profissional em Controle.....</b>	<b>93</b>
<b>4.6</b>	<b>Aspectos Não Técnicos da Engenharia de Controle.....</b>	<b>97</b>

<b>4.7</b>	<b>Considerações Finais</b> .....	<b>100</b>
<b>5</b>	<b>SÍNTESE CURRICULAR</b> .....	<b>101</b>
<b>5.1</b>	<b>Formação</b> .....	<b>103</b>
5.1.1	Enfoque Epistemológico .....	103
5.1.2	Enfoque Metodológico .....	109
<b>5.2</b>	<b>Revisão Cognitiva</b> .....	<b>114</b>
<b>5.3</b>	<b>Maturação</b> .....	<b>120</b>
<b>5.4</b>	<b>Aplicação</b> .....	<b>127</b>
<b>5.5</b>	<b>Considerações Finais</b> .....	<b>128</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES FINAIS</b> .....	<b>131</b>
<b>6.1</b>	<b>O Objeto e a Questão Central da Tese</b> .....	<b>131</b>
<b>6.2</b>	<b>A Síntese</b> .....	<b>132</b>
<b>6.3</b>	<b>Perspectivas de Continuidade</b> .....	<b>136</b>
<b>6.4</b>	<b>Considerações Finais</b> .....	<b>138</b>
	<b>ANEXO A – CONCEITOS GERAIS</b> .....	<b>140</b>
<b>A.1</b>	<b>Tecnologia</b> .....	<b>140</b>
<b>A.2</b>	<b>Automação</b> .....	<b>141</b>
<b>A.3</b>	<b>Cibernética</b> .....	<b>141</b>
<b>A.4</b>	<b>Metafísica</b> .....	<b>142</b>
<b>A.5</b>	<b>Complexidade</b> .....	<b>143</b>
<b>A.6</b>	<b>Conhecimento</b> .....	<b>143</b>
<b>A.7</b>	<b>Epistemologia</b> .....	<b>145</b>
<b>A.8</b>	<b>Método Pedagógico</b> .....	<b>146</b>
	<b>ANEXO B – CAMPOS DE ESTUDO DA ACADEMIA</b> .....	<b>147</b>
	<b>ANEXO C – CURSOS NO BRASIL</b> .....	<b>153</b>
	<b>ANEXO D – ESCOLA VIRTUAL DE CONTROLE</b> .....	<b>161</b>
	<b>ANEXO E – PROGRAMA AVANÇADO EM MATEMÁTICA</b> .....	<b>166</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>167</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Esquema do Modelo Epistemológico .....	31
<b>Figura 2</b> – Dinâmica Pedagógica .....	101
<b>Figura 3</b> – Esquema Qualitativo da Síntese Curricular .....	129

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Produção em Eventos Gerais de Controle Automático em 2002 .....	19
Tabela 2 – Características Essenciais da Engenharia de Sistemas .....	40
Tabela 3 – Análise das Estruturas Curriculares de Referência.....	56
Tabela 4 – Participantes da EVC em Sinais e Sistemas Lineares .....	124
Tabela 5 – Resultados Quantitativos Sem Repetentes .....	125
Tabela 6 – Resultados Quantitativos da Aplicação da EVC .....	125
Tabela 7 – Índices Comparativos .....	125
Tabela 8 – Cursos de Engenharia de Controle e Automação no Brasil.....	154
Tabela 9 – Estrutura Curricular da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais .....	156
Tabela 10 – Estrutura Curricular da Pontifícia Universidade Estadual de Campinas .....	157
Tabela 11 – Estrutura Curricular da Universidade Federal de Minas Gerais .....	159
Tabela 12 – Estrutura Curricular da Universidade Federal de Santa Catarina.....	160
Tabela 13 – Desempenho dos alunos repetentes de todas as turmas.....	161
Tabela 14 – Desempenho dos alunos não repetentes da Turma 2001/2.....	162
Tabela 15 – Desempenho dos alunos não repetentes da Turma 2002/1 (Parte I).....	163
Tabela 16 – Desempenho dos alunos não repetentes da Turma 2002/1 (Parte II) .....	163
Tabela 17 – Desempenho dos alunos não repetentes da Turma 2002/2.....	164
Tabela 18 – Desempenho dos alunos não repetentes da Turma 2003/1 (Parte I).....	164
Tabela 19 – Desempenho dos alunos não repetentes da Turma 2003/1 (Parte II) .....	165
Tabela 20 – Síntese para os Alunos Repetentes .....	165
Tabela 21 – Síntese para os Alunos Não Repetentes da Turma 2001/2.....	165
Tabela 22 – Síntese para os Alunos Não Repetentes da Turma 2002/1 .....	165
Tabela 23 – Síntese para os Alunos Não Repetentes da Turma 2002/2.....	165
Tabela 24 – Síntese para os Alunos Não Repetentes da Turma 2003/1 .....	165
Tabela 25 – Alunos Participantes do PAM .....	166
Tabela 26 – Resultados Quantitativos do PAM .....	166

# 1 INTRODUÇÃO

O objetivo desta tese, que aborda o cenário da engenharia de controle no Brasil, é oferecer subsídios racionais (modelos) que promovam a melhoria dessa formação, sendo sua escolha motivada pelas seguintes razões, tratadas no decorrer deste trabalho:

- Emergência do controle – Com o desenvolvimento tecnológico, o controle, que sempre esteve a serviço de engenharias baseadas em processos, está se tornando núcleo de integração tecnológica, tendendo a nortear a relação tecnológica contemporânea, em uma nova perspectiva de engenharia.
- Especificidade do controle – A engenharia de controle transcende a relação entre ciências e tecnologias particulares representativa das engenharias clássicas, necessitando, pois, de uma abordagem epistemologicamente (e, portanto, pedagogicamente) diferenciada.
- Flexibilização legal – Até pouco tempo, nossas engenharias eram marcadas por uma regulamentação rígida do ponto de vista curricular, passando atualmente por uma fase de transição, com oportunidades de ajustes e riscos de aumento nas distorções, o que remete ao aprofundamento na compreensão de sua realidade pedagógica.
- Introdução no Brasil – Nosso país foi o pioneiro no ordenamento legal de uma engenharia integralmente voltada para o controle, apresentando condições ideais para o aprofundamento nessa formação.
- Relevância estratégica – O Brasil sempre esteve em posição secundária no contexto do desenvolvimento tecnológico internacional, de modo que avanços estratégicos são necessários, especialmente em termos de capital humano, para a reversão desse quadro altamente inercial.
- Demarcação profissional – A flexibilização na formação profissional, com novas modalidades, remete a uma melhor demarcação profissional que

garanta à engenharia a obtenção de níveis mínimos de qualificação que a caracterizem em relação às demais modalidades profissionais.

- Ingerência do mercado – A tácita relação entre instituições de formação e mercado de trabalho, com uma formação geral sólida sendo especializada no mercado, está enfraquecida, com este exigindo maiores contrapartidas das instituições para a formação de profissionais mais “competitivos”.
- Carência de estudos – Apesar das condições supra citadas, que demonstram a relevância do tema de pesquisa, não há estudos aprofundados sobre a engenharia de controle.

Estas razões aparecem dissociadas entre si, cabendo a definição de uma linha geral de motivação. Após esse desenvolvimento, que é apresentado abaixo e não inclui as questões profissionais, limitando-se ao âmbito de formação, os demais capítulos e anexos do documento são contextualizados.

O primeiro curso específico de engenharia de controle foi formalmente constituído na Universidade Federal de Santa Catarina (Bruciapaglia et. al., 1990), que propôs o currículo de uma habilitação específica de engenharia para o projeto, a operação e a manutenção de sistemas automatizados. Este curso foi reconhecido pedagogicamente e profissionalmente em Brasil (1994) e Brasil (1999a), respectivamente. Desde então, o Brasil já conta com aproximadamente vinte cursos, voltados para o atendimento de uma crescente demanda por profissionais capazes de interagir com uma tecnologia cada vez mais integrada e com níveis crescentes de abstração. Ao mesmo tempo, surgem pressões profissionais e curriculares que demandam pela inclusão de novos conhecimentos e competências à formação, e pela expansão da aplicabilidade do controle e em diferentes áreas.

Quando da criação do curso, a legislação brasileira referente ao ensino de engenharia não dispunha de flexibilidade suficiente para a introdução de uma engenharia tão peculiar como a de controle (Brasil, 1976), que acabou sendo formalmente definida como uma habilitação específica em Controle e Automação oriunda das áreas Elétrica e Mecânica do curso de Engenharia (Brasil, 1994). Este artifício, até então inédito, foi um marco que evitou sua incorporação por alguma área particular da engenharia, preservando sua natureza sistêmica. Posteriormente, com a nova Lei de Diretrizes e Bases da Educação – LDB (Brasil, 1996), abriu-se o espaço legal para a busca de uma identidade própria para esse curso, que poderá se consolidar a partir da definição das diretrizes curriculares para a engenharia (Salum, 1999; Ferreira, 1999; Brasil, 2002; Brasil, 2003b).

Infelizmente, existem poucos estudos no Brasil relacionados à engenharia de controle, e os que existem tratam-na no contexto geral da engenharia, abordando questões pedagógicas gerais sobre a formação tecnológica superior e seu respectivo exercício profissional (Rodrigues, 1999), ou então descrevendo e fundamentando a criação do curso em instituições específicas (Silveira et. al., 1998; Pena et. al. 2001). Internacionalmente, por sua vez, inexistem uma realidade particular de formação com estudos específicos. Assim, diferentes trabalhos, como Blondel et. al. (1995) e Antsaklis (2000), vêm levantando questões gerais em relação à área de controle, tais como seus desafios no novo milênio. Estes trabalhos são baseados em pesquisas e debates entre membros da comunidade, representando amostras relevantes da opinião coletiva sintetizadas a partir de experiências individuais. Ao mesmo tempo, outros trabalhos, como Kheir et. al. (1996) e Heck (1999), vêm abordando o ensino de controle em cenários diversificados, portanto superficialmente, mantendo o referencial em cursos clássicos de engenharia (elétrica, mecânica, química etc.) com extensões em controle. Estas duas tendências demonstram a preocupação da comunidade internacional com o processo de construção do conhecimento, tanto na forma coletiva, *epistemológica*, quanto individual, *pedagógica*. Entretanto, enquanto a primeira fundamenta-se na síntese de experiências individuais, baseadas no senso-comum; a segunda trata o ensino de controle como uma extensão da formação tecnológica clássica, sem diferenciações essenciais, com resultados não fundamentados, portanto, em uma engenharia específica de controle.

O necessário aprofundamento nos estudos relacionados à formação em engenharia de controle, como os acima citados, depende da busca de bases epistemológicas (coletivas) e pedagógicas (individuais) próprias para o controle e sua engenharia. A caracterização dessa identidade própria, que possa aprimorar a eficiência na aplicação dos recursos pedagógicos e na aprendizagem, interessa tanto às instituições nacionais de formação, no apoio à definição de sua metodologia pedagógica e de sua síntese curricular, quanto à própria comunidade, na busca de uma melhor compreensão do controle e da melhor formação de sua massa pensante. Esse aprofundamento se mostra ainda mais pertinente na medida em que a formação em engenharia de controle envolve uma realidade diferenciada daquela que é intuitivamente reconhecida e aplicada nas engenharias clássicas.

Nesta tese, tais bases epistemológicas e pedagógicas consistem na definição de modelos que reflitam adequadamente os aspectos epistemológicos e pedagógicos relevantes da engenharia de controle. É interessante notar que ainda não tenha ocorrido, em uma área estreitamente dependente de modelos científicos e tecnológicos, a similar busca por modelos epistemológico e pedagógico de referência para um processo de “controle” da formação.

Bissell et. al. (2000) fornece uma perspectiva, em artigo que explora a modelagem matemática aplicada à tecnologia, tendo como referência o ensino de graduação e a prática profissional, ao indicar que “muito do que é ensinado aos estudantes é consideravelmente problemático sob os pontos de vista filosófico e pedagógico”, de modo que eles (futuros engenheiros e professores) tendem a rejeitar quaisquer incursões pedagógicas e epistemológicas, principalmente quando elas representam o eixo central dos modelos.

Assim, na falta de modelos epistemológico e pedagógico de referência, as ações pedagógicas tendem a serem implementadas intuitivamente e/ou heurísticamente, a partir, em geral, de soluções *ad hoc* ligadas a problemas localizados. Concepções prévias distorcidas sobre a epistemologia e a pedagogia do controle tendem a emergir, inviabilizando perspectivas globais de formação, geralmente tratadas como desnecessárias em função de uma concepção curricular fragmentária, onde o sucesso das disciplinas isoladas é considerado suficiente para o sucesso global.

Uma das concepções epistemológicas prévias incorretas sobre a engenharia de controle é o relacionamento dado aos termos controle e *automação* (Anexo A.2), que oficialmente a caracterizam. Esta confusão decorre da origem distinta de ambos, com relevante influência acadêmica das engenharias e da ciência da computação, respectivamente (ver Buzin, 2000). No entanto, conforme demonstrado neste documento, todo o arcabouço teórico e experimental ligado à “engenharia de controle e automação” é de fato controle, embora comumente tratado como automação no caso de sistemas de manufatura. Nesta tese, a automação é tratada como o universo de aplicações do controle que dispensam a ação humana direta, sendo teoricamente e experimentalmente fundamentada no controle. Desta forma, a engenharia de controle, ao impor ao controle a ânsia pragmática própria da engenharia, já traz implícita essa automação. Assim, para manter a coerência epistemológica, a “engenharia de controle e automação” instituída no Brasil é tratada como *engenharia de controle*, estando subentendida a formação em controle aplicado e, portanto, na automação de sistemas. Esta busca pela coerência conceitual não representa um desmerecimento da tradicional “automação da manufatura”, mas implica em sua devida integração ao controle na formação.

A partir da problemática até aqui apresentada, que remete à busca de uma identidade racional para a engenharia de controle, surge a questão central desta tese, relacionada à definição de um modelo para a engenharia de controle no Brasil:

*Que modelos epistemológico e pedagógico caracterizam a formação em engenharia de controle no Brasil e, por extensão, poderiam sustentar o desenvolvimento da síntese curricular e de métodos pedagógicos próprios?*

Um modelo para a engenharia de controle que atenda a questão acima possibilita o desenvolvimento de métodos que não estejam somente em sintonia com teorias gerais de ensino e aprendizagem e/ou com modelos de formação tecnológica, mas também com as particularidades inerentes à engenharia de controle, especificamente a brasileira. Nesta direção, a resolução da questão da tese deve considerar que muito da realidade abordada está ligado às técnicas aplicadas pelos professores, que não podem ser impostas externamente, mas dependem essencialmente de seus conhecimentos e experiências individuais, além do que, os cursos apresentam instâncias próprias de regulação – geralmente na figura dos colegiados – que devem ser respeitadas, bem como são marcados por uma inércia pedagógica intrínseca.

A definição de um modelo epistemológico para uma área do conhecimento peculiar como o controle não é uma tarefa intuitiva (direta), mas envolve um entendimento aprofundado da natureza e do processo de construção próprios do seu conhecimento, devendo, pois, caber a um especialista da área, que, dispondo de uma visão orgânica do conhecimento, pode definir um modelo não limitado a classificações superficiais. Além disso, a extensão do modelo epistemológico do controle para a formação em engenharia (modelo pedagógico) exige um entendimento sobre o respectivo processo de aprendizagem, de modo que se mostra apropriada a experiência tanto na condição de aprendiz quanto na de mestre, com eventuais incursões no contexto profissional. Soma-se a estes fatores, diversos estudos que proporcionaram o aprofundamento preliminar necessário ao desenvolvimento da tese (Rodrigues, 2000a, 2000b, 2001 e 2002; Rodrigues et. al. 2002a, 2002b e 2003).

O próprio desenvolvimento da tese na área de conhecimento de Automação e Sistemas traz condicionantes acadêmicos relevantes para sua justificação, sendo essa área da pós-graduação a principal fonte intelectual do controle (além de alguns poucos laboratórios isolados), que coordena a evolução de seu conhecimento e a formação/manutenção de seus professores. Além disso, foi nesta área, a partir do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFSC, que foi concebida a engenharia de controle no Brasil (Bruciapaglia, 1990). Assim, do ponto de vista estritamente acadêmico, optou-se pelo desenvolvimento da tese na área que proporciona sua melhor justificação, avaliando adequadamente seus aspectos de originalidade, relevância e não trivialidade. Apesar de congregarem aspectos epistemológicos e pedagógicos do ensino de engenharia de controle, e portanto também de automação, na busca dos respectivos modelos de representação; tais aspectos aplicados já estão consolidados ou ao menos já difundidos por autores destas áreas, cabendo ao tratamento dado ao conhecimento em controle e à sua formação na engenharia, a originalidade intrínseca à tese, através de bases de representação até então inexploradas.

Do ponto de vista epistemológico, a resolução da questão central da tese requer a aplicação de uma base filosófica consistente que permita, a partir de conceitos filosoficamente ordenados, a estruturação em núcleos epistemológicos e pedagógicos próprios para a engenharia de controle, dos aspectos coletivos e individuais do seu conhecimento. Estes núcleos, por sua vez, dependem de estudos sobre a epistemologia do controle e a pedagogia de sua engenharia que sejam constituídos a partir de tal base filosófica. Entretanto, os trabalhos relacionados com esses estudos não apresentam a consistência filosófica, o enfoque e a profundidade necessários, de modo que são introduzidos durante o próprio desenvolvimento da tese, quando relacionados aos temas em desdobramento (neste aspecto particular, a tese colateralmente constitui um fio condutor de integração destes trabalhos).

A consistência filosófica deve pois complementar a intimidade com o conhecimento em controle, presente nos autores da área em geral, permitindo a fuga definitiva da superficialidade e da ênfase no senso-comum e na experiência individual, de modo a possibilitar a investigação sólida dos fundamentos do controle, bem como a posterior incursão consistente em ações pedagógicas.

O arcabouço filosófico utilizado na tese deve partir de uma epistemologia que contemple o conhecimento tecnológico (onde se estruturou academicamente o controle), possibilitando um posicionamento mais preciso do conhecimento vinculado ao controle e à sua engenharia. Essa base epistemológica deve apoiar-se solidamente em outros aspectos filosóficos, tais como os relativos às entidades elementares dos sistemas concretos (ontológicos), formando um conjunto harmônico que forneça a consistência desejável e necessária para uma incursão aprofundada ao controle. Este sistema filosófico deve também abranger o realismo/materialismo científico característico das ciências naturais e da tecnologia contemporânea (ver Lacey, 1997, p. 14; Bissell, 1999b, p. 45), que está presente na prática pedagógica da engenharia, prejudicando especialmente a formação em controle.

Nesta direção, adotou-se como base filosófica para esta tese a epistemologia realista de Mario Bunge (Bunge, 1983), que compõe o sistema filosófico desenvolvido por este pensador, onde estão incluídos fatores psicológicos e sociológicos (Bunge, 1983d, p. xiv), essenciais em qualquer análise epistemológica contemporânea, além da inclusão da própria teoria de controle e de sistemas em suas considerações e exemplos.

A partir dos fundamentos filosóficos de Bunge e previamente ao eixo central do documento, que trata especificamente de temas relacionados ao controle, são apresentados no Anexo A os seguintes temas: *Tecnologia, Automação, Cibernética, Metafísica, Complexidade, Conhecimento e Epistemologia*. O entendimento destes temas, que consolidam

a base filosófica da tese, é necessário para compreensão de sua base conceitual, inibindo a influência de perturbações do senso-comum. São ainda apresentados, em anexo, um levantamento de focos de interesse da academia de controle automático (Anexo B), um levantamento dos cursos no Brasil e de algumas estruturas curriculares de referência (Anexo C), e alguns resultados pedagógicos acessórios relacionados à tese (Anexos D e E).

O eixo central do documento, por sua vez, apresenta nos próximos dois capítulos, segundo e terceiro, estudos sobre a epistemologia do controle e sobre a pedagogia de sua engenharia, respectivamente. No segundo, desenvolve-se o fio condutor que leva ao modelo epistemológico do controle a partir da natureza do seu conhecimento, passando por sua vertente tecnológica e seu processo de construção. No terceiro, realiza-se tarefa similar para o modelo pedagógico, a partir da realidade do ensino de engenharia e das diferenças entre a engenharia de controle e as baseadas em classes particulares de processos (clássicas). Com estes dois capítulos, soluciona-se conceitualmente a questão central da tese, com a definição de modelos que caracterizam a formação em engenharia controle e podem, portanto, sustentar o desenvolvimento da síntese curricular e de métodos pedagógicos próprios.

Os dois capítulos seguintes, quarto e quinto, procuram abordar as múltiplas relações entre esses modelos e a realidade, em uma justificação empírica subjacente à construção filosófica. No quarto, são tratados tópicos particulares da formação, tais como os laboratórios, as tecnologias da informação e a pesquisa, abordados à luz dos modelos. No quinto, retorna-se ao contexto geral de formação, com a definição de estratégias de ação pedagógica integradas à síntese curricular, que controlaria a dinâmica pedagógica do curso a partir do modelo para a engenharia de controle. Esse capítulo procura, assim, conectar as bases filosóficas anteriores a sua respectiva realidade, indicando diretrizes para a ação pedagógica. Ressalte-se neste aspecto que diversas são as perspectivas possíveis para a engenharia e o perfil profissional desejado, estando, esta tese focada na qualificação da engenharia de controle conforme atualmente definida no contexto brasileiro.

O último capítulo, por fim, apresenta considerações decorrentes, consolidando a resposta à questão central da tese. São também identificados os principais desafios a serem trilhados para seu aprimoramento futuro, indicando-se possíveis desdobramentos.

## 2 ESTUDO EPISTEMOLÓGICO

Este capítulo realiza um estudo epistemológico sobre o *conhecimento* (Anexo A.6) de controle, promovendo a análise de sua natureza e do seu processo de construção, e considerando sua ênfase tecnológica sem no entanto perder a noção geral. Ao final do capítulo é apresentado o modelo epistemológico que emerge deste estudo e que responde parcialmente a questão central da tese, sendo estratégico para o posterior modelo pedagógico, ao possibilitar uma compreensão mais elaborada do objeto pedagógico (conhecimento em controle), principal tarefa da *epistemologia* (Anexo A.7).

A seguir é apresentada uma definição para o controle, acompanhada por uma análise da natureza do seu conhecimento. Em seguida são abordados aspectos específicos do controle automático e diferentes visões do conhecimento em controle são apresentadas, sendo então verificada sua produção acadêmica e estudado seu processo de construção. Enfim, são apresentadas, com base nestes elementos, hipóteses que constituem o modelo proposto.

### 2.1 CONTROLE

A definição de controle é fundamental ao ensino do seu conhecimento. Nesta direção, é comum que seja implicitamente elaborada nas diferentes áreas do conhecimento onde é aplicado o controle (praticamente todas), de onde noções intuitivas, provenientes do senso-comum, acabam emergindo, sendo a coerência conceitual enfraquecida com a adoção de diferentes dialetos. Assim, um estudo que se presta à modelagem epistemológica do conhecimento em controle deve iniciar-se com a definição precisa e coerente do que trate como *controle*. Esta definição deve ser a mais abrangente possível, em resposta inclusive a especialistas em ensino de controle, que defendem a necessidade de uma formação compreensiva em controle, conforme próximo capítulo. A realização de tal tarefa não é trivial,

pois a transitividade do termo impele ao controle de algo para alguma finalidade, muitas vezes implícita. Deve-se assim limitar-se à indicação de marcos conceituais gerais que possibilitem o posterior ingresso ao controle partindo-se de uma perspectiva geral.

Nesta direção, aplicando-se conceitos ontológicos de Bunge (1983), “controle” pode ser genericamente conceituado como **um processo que objetiva modificar uma ou mais propriedades intrínsecas de uma coisa ou sistema concreto de coisas conforme um sistema de regras**. Em relação aos conceitos presentes nesta definição, deve-se ressaltar que:

- i) as propriedades são características reais que podem ser racionalmente abstraídas na forma de *atributos* – Bunge (1983b, p. 58) fornece uma melhor compreensão da distinção entre propriedade e atributo (na comunidade de controle surgem os *estados*, e atributos como *robustez, estabilidade, etc*);
- ii) uma coisa é um indivíduo substancial (concreto) com suas propriedades, sendo a realidade a associação de todas as coisas (Bunge, 1983b, pp. 111-115), que somente podem ser representadas e eventualmente manipuladas, mas não diretamente trabalhadas pela ciência e pela *ontologia* (Anexo A.4), que utilizam esquemas funcionais (modelos) das coisas (*idem*, pp. 119-121).
- iii) um *processo* é basicamente uma seqüência estruturada de estados e/ou eventos que tratam de uma única coisa ou sistema de coisas (Bunge, 1983b, pp. 225-243);
- iv) uma regra é uma proposição que prescreve algum tipo de comportamento não determinista (neste caso seria uma lei), ou seja, é uma prescrição para fazer ou buscar algo, ao contrário das leis, que descrevem, explicam e prevêm (Bunge, 1983d, pp. 369-371);

A entidade (coisa ou sistema concreto) que sofre a ação de um processo de controle pode ser denominada de *sistema controlado*. Este conceito pode ser aplicado de forma estrita, limitando-se à entidade que sofreu ação direta de controle, ou estender-se a todo o sistema a quem estava direcionado o controle, através da finalidade implícita no sistema de regras. Tem-se, deste modo, as noções de sistema controlado, propriamente dito, e de *sistema indiretamente controlado*. Um exemplo está no controle da abertura da pupila humana, que tem na pupila seu sistema controlado em sentido estrito, sendo, contudo, a visão humana seu sistema indiretamente controlado (onde se inclui a pupila). O controle na engenharia tende à postura estrita, a partir de especificações particulares e modelos formais, enquanto a *cibernética* (Anexo A.3) tende à postura mais geral, conforme apresentado em Lhote et. al. (1999), através de modelos funcionais (Rose, 1994, p. 26).

O sistema de regras representa as *intenções* do processo de controle sobre o sistema controlado, a partir de três influências distintas: as expectativas relacionadas ao sistema indiretamente controlado, as influências do meio ambiente e as limitações do próprio sistema controlado. No caso dos sistemas tecnológicos de controle automático, por exemplo, as influências do meio ambiente são geralmente tratadas como perturbações que devem ser rejeitadas ou contornadas, as expectativas do sistema indiretamente controlado são representadas na forma de especificações, e apenas as limitações do sistema controlado integram diretamente o desenvolvimento do sistema de controle.

Para efetivamente atender ao sistema de regras, o processo de controle deve “conhecer” de alguma forma e em alguma extensão o sistema controlado para, a partir de uma lógica própria, denominada *lógica de controle*, definir sua interação com ele, através de uma seqüência estruturada de estados e/ou eventos de controle. O suporte material deste processo, que viabiliza a lógica de controle, é denominado de *sistema controlador* e pode estar inclusive organicamente integrado ao próprio sistema controlado, como é próprio dos sistemas naturais.

Quaisquer sistemas que tenham suas propriedades manipuladas por um ou mais processos de controle, mesmo que implícitos, podem ser denominados de *sistemas de controle*. Em tese, todos os sistemas concretos são sistemas de controle, considerando-se que não existe sistema isolado e que toda e qualquer interação caracteriza uma relação mútua de controle. A restrição que certas áreas do conhecimento impõem ao controle, como o controle automático que tende a limitá-lo aos processos tecnológicos, resulta da definição do objeto e/ou da finalidade do controle; o que, no entanto, não altera sua natureza epistemológica, ponto de partida para a definição do respectivo modelo.

Assim sendo, o controle, em seu aspecto mais abrangente, envolve todos os sistemas, quer sejam naturais (ciência) ou artificiais (*tecnologia* – Anexo A.1), sendo essencial para a compreensão daqueles, e para o desenvolvimento e manutenção destes (ver Murray et. al.2003, p. 12). Norbert Wiener, por exemplo, mostrou que homem e máquina podem ser tratados na forma de sistemas de controle (Rose, 1994, p. 25). Não é por acaso que Lacey (1997) sugere, ao abordar o materialismo científico, que “as estratégias materialistas não representam o mundo tal como *é*, mas representam as possibilidades de controle da natureza e o entendimento de algumas outras coisas sob a forma de uma projeção de perspectiva de controle” (p. 32, grifo do autor). Sob uma ótica dialética, embora um tanto fatalista, Bunge (1996, p. 115, grifo do autor) complementa afirmando que “todo sistema de controle, seja uma fornalha provida de um termostato ou um organismo dotado de sistema nervoso, tem um dever ser embutido em forma de um conjunto de condições (‘meta’) que o

sistema trata de alcançar ou conservar”. Assim, pode perfeitamente ocorrer que a finalidade do controle não seja atendida, tendo-se, por exemplo, o colapso de sistemas tecnológicos e o desequilíbrio de sistemas naturais (caso de doenças e da morte no sistema humano).

Os processos de controle podem atuar em diferentes níveis dos sistemas e de seus subsistemas. Assim, considerando-se um sistema industrial, por exemplo, ter-se-á: o controle mais elementar, com a regulação de variáveis localizadas; o controle supervisório e o controle gerencial de unidades de manufatura; o controle de fluxo de materiais; o controle da produção; e os controles comercial, administrativo, financeiro e contábil, dentre outros. Todos eles estarão envolvidos com o sistema ou com algum subsistema particular (unidades e equipamentos, por exemplo), apresentando uma lógica decisória baseada no conhecimento acerca do sistema de controle e, eventualmente, de seu meio ambiente, e no sistema de regras. Um robô manipulador, por exemplo, serve a um sistema de manufatura (sistema indiretamente controlado), tendo uma lógica de controle que converterá as expectativas deste sistema, na forma de regras de trajetória e força, em subsistemas de regras para suas juntas, que, por sua vez, terão processos específicos de controle, que integram o processo global de controle do robô manipulador (sistema indiretamente controlado das juntas).

Diante do conceito geral de controle, aqui apresentado, verifica-se que embora o conhecimento em controle esteja historicamente ligado às aplicações tecnológicas, seu estudo epistemológico não deve se resumir à sistematização de tais conhecimentos, mas deve partir da concepção geral de controle para a definição de um modelo epistemológico que considere a tecnologia, mas não se limite a ela. Este processo deve inclusive promover a correção de distorções históricas, comuns no processo epistemológico, que ajudaram a manter o controle fragmentado e sob diferentes dialetos, como nitidamente ocorre entre o controle de processos, o controle da manufatura e a cibernética. Nesta direção, será abordada na próxima seção a natureza do conhecimento em controle, aqui definido, para somente então impor algum direcionamento a aspectos tecnológicos, focalizados na engenharia de controle.

## **2.2 NATUREZA DO CONHECIMENTO EM CONTROLE**

Conforme definido acima, o controle está implícito na realidade em geral e nos núcleos específicos de conhecimento das diversas ciências naturais e sociais. Foi a partir da sistematização da tecnologia, contudo, que foi abstraído e racionalizado, estando, portanto, historicamente vinculado aos processos tecnológicos, conforme evidencia Bernstein (2003a).

Antsaklis et. al. (1999, p. 57) retrata esta relação ao afirmar que “a tecnologia de sistemas de controle é ‘a ciência oculta’ que virtualmente sustenta os aspectos da sociedade moderna”, estando presente em desde o sistema hidráulico da privada doméstica (Goury, 1996) até a produção de semicondutores (Kailath et. al., 1996), em desde a economia (Beniger, 1992) até a medicina (Seising, 2003), sendo sensível sua relevância social. A evolução tecnológica tem servido, deste modo, de grande motivador social para a criação e a evolução do conhecimento do controle, especialmente na área do controle automático, foco da engenharia de controle e que será tratado na próxima seção.

Apesar do controle transcender a tecnologia, conforme a definição da seção anterior, sua dependência histórica para com a produção do artificial tem reforçado uma noção cotidiana da natureza de seu conhecimento como tecnológica. Procurando não contrapor esta percepção, Bunge (1983e, pp. 300-303), ao estudar a tecnologia, classifica o controle como uma “tecnologia geral”, isto é, cujo conhecimento abstrai elementos comuns a todas as famílias de artefatos. Entretanto, ao transcender os sistemas técnicos (artificiais), onde estão incluídos os tecnológicos, o controle torna-se, assim como a ciência, fonte de conhecimentos para a tecnologia, e não simplesmente parte dela.

Seguindo este último enfoque, e sob um ponto de vista cientificista, o controle também poderia ser tratado como uma “ciência da tecnologia”, ao abordar processos tecnológicos em geral com uma metodologia e um formalismo científicos. Todavia, a abordagem “científica” do controle é equivocada, pois seu conhecimento não está diretamente vinculado a fenômenos concretos, dependendo das teorias específicas do concreto para a criação de vínculos formais particulares com eles. O caráter científico do controle dependeria do incerto desenvolvimento de uma teoria científica geral, que promovesse um diálogo racional direto entre todos os fenômenos concretos. Ertas et. al. (2000, p. 3), por exemplo, prevê o próximo passo do desenvolvimento científico como sendo o tratamento e a integração das enormes quantidades de dados disponíveis em uma forma mais inteligente, humana, controlada; através de uma sistemática integração do conhecimento destinada à introdução de algum nível de controle intelectual sobre as diferentes áreas do conhecimento.

Em seu estágio inicial, o conhecimento em controle já foi técnico, quando era estritamente intuitivo, antes da sistematização racional da ciência moderna. Posteriormente, tornou-se tecnológico, quando da aplicação isolada em tecnologias específicas, iniciando então um processo histórico de integração que ainda não se reflete adequadamente na formação em controle, conforme estudo do próximo capítulo. Futuramente, talvez torne-se científico, caso se verifique uma convergência racional das teorias do concreto.

No atual estágio de desenvolvimento do conhecimento humano, contudo, as teorias de controle não são nem tecnológicas, nem científicas, propiciando o que Ertas et. al. (2000) denomina de “*maior economia lógica*”, necessária mais do que nunca em razão da enorme expansão contemporânea do conhecimento, com a correspondente introdução de novas tecnologias (idem, p. 5). Nesta direção, o conhecimento em controle apresenta uma terceira natureza, ainda desprestigiada na epistemologia atual: a *Metafísica Científica* (Anexo A.4), conforme define Bunge (1983b, p. 7) ao exemplificá-la com as teorias de autômatos, de sistemas lineares e de controle em geral. Bunge sintetiza esta natureza ao afirmar que:

*“Uma área onde a ontologia encontra a ciência é a tecnologia contemporânea. De fato, **algumas teorias nas denominadas ciências da informação e nas teorias de sistemas são tão gerais, e ao mesmo tempo tão precisas, que se qualificam na metafísica científica. Por exemplo, a teoria geral de controle (ou cibernética) irá ser aplicada não somente a máquinas com malhas de realimentação, mas também a sistemas baseados em metas (membros das espécies animais de maior ordem). Sendo tão geral, uma teoria deste tipo não irá representar quaisquer detalhes do sistema de interesse: por exemplo, será insensível à natureza dos materiais e mecanismos envolvidos. Então não irá substituir quaisquer das teorias particulares construídas por cientistas e tecnologistas. Mas tais teorias gerais fornecem insights e conectam campos de pesquisa anteriormente isolados.**” (Bunge, 1983b, p. 21 – grifei)*

Nesta direção, as teorias de controle estão formalmente baseadas na lógica e na matemática, que são ontologicamente neutras (Bunge, 1983a, p. 39; 1983b, p. 15), ou seja, não estão diretamente vinculadas a nenhum tipo de sistema concreto. O controle é, pois, um tema sem fronteiras com relevância para todas as áreas da ciência e da tecnologia (Bernstein, 2003, p. 17), de modo que idealmente busca o desenvolvimento de teorias universais, aplicáveis aos sistemas de controle em geral. O caráter metafísico do conhecimento em controle, sem uma relação imediata com fenômenos concretos, impõe a intermediação de técnicas e teorias do concreto, fazendo com que sua própria justificação dependa inicialmente da coerência com os respectivos conhecimentos técnicos, tecnológicos e científicos. Somente então, o conhecimento em controle será justificável a fenômenos concretos, não mais através de sua coerência metafísica, mas a partir de conhecimentos complementares que estendam a justificação lógico-matemática e corroborem a aplicação concreta do controle. Estes conhecimentos complementares de justificação aplicada constituem o *Controle Experimental*.

A natureza metafísica do conhecimento em controle dificulta a relação entre a teoria e a prática do controle, principalmente em sua engenharia. Kheir et. al. (1996, p. 150) descreve duas correntes distintas de pensamento: uma matemática voltada para a definição e estruturação dos conceitos abstratos dos sistemas e do seu controle; e outra física baseada no

problema (o controle sempre controlando algo). Nesta mesma direção, Bunge (1983d, p.1) indica a coexistência de duas motivações relacionadas: uma cognitiva, relacionada ao desejo de descobrir semelhanças entre sistemas de todos os tipos independentemente de suas particularidades; e outra prática, ligada à necessidade de lidar com os complexos sistemas das sociedades industriais. Coexistem, pois, em torno do desenvolvimento do controle, uma forte ênfase na sistematização lógico-matemática da realidade e a busca pragmática da capacidade de aplicação em qualquer área tradicional baseada em problemas. Assim, na prática, apesar do seu caráter intrinsecamente metafísico, o conhecimento em controle apresenta duas naturezas distintas: uma teórica ou metafísica e outra experimental ou tecnológica, havendo, entretanto, uma precedência da primeira (*controle*) sobre a segunda (*controle experimental*).

A relação entre os conhecimentos teóricos e experimentais do controle difere da relação apresentada na ciência, basicamente porque enquanto há uma relação direta entre as teorias científicas e o desenvolvimento experimental, através da invenção, descoberta e aprimoramento de fenômenos específicos (Hacking, 1983), esta relação é apenas indireta nas teorias metafísicas, restando ao âmbito experimental sua corroboração e aplicação<sup>1</sup>. Assim, os avanços diretamente relevantes para o controle são os ligados à representação e ao tratamento de sistemas em geral (avanços lógico-matemáticos), sendo acessórios os avanços tecnológicos e experimentais. De fato, os fenômenos já estão sistematizados através das teorias do concreto (geralmente científicas), não cabendo ao controle refazer o processo, mas apenas aplicar o conhecimento já extraído do concreto em seu nível epistemológico próprio.

A compreensão da natureza do conhecimento em controle é fundamental para o entendimento do controle automático, e conseqüentemente dos diversos aspectos que povoam os processos de ensino e aprendizagem ligados à engenharia de controle.

### 2.3 CONTROLE AUTOMÁTICO

Até aqui o controle foi abordado em sua forma geral, com um conhecimento diluído em diversas áreas. Agora, após uma definição epistemológica inicial, aborda-se a área de controle automático, em razão do seu foco na engenharia de controle. Deve-se ressaltar, contudo, que os desenvolvimentos agora iniciados serão, em geral, válidos para o controle

---

<sup>1</sup> Buzin (2000) reconhece esta condição na Ciência da Computação: “enquanto nas ciências naturais o experimento valida ou até propicia uma mudança de paradigma, para a Ciência da Computação o experimento é uma demonstração” (p. 8).

*lato sensu*. A área de controle automático deriva de um processo histórico que passa pelas necessidades decorrentes da sua aplicação em diferentes setores da tecnologia e pela evolução de suas bases metafísicas. Bushnell (1996) e Kheir et. al. (1996) apresentam diversos aspectos históricos da área. Balchen (1999) realiza tarefa semelhante considerando a influência de alguns fatores não acadêmicos, enquanto Bissell (1999a) aborda componentes ideológicos presentes no desenvolvimento do conhecimento em controle na antiga União Soviética, importante centro para o desenvolvimento do controle automático.

Tal processo resulta da ação estruturada da comunidade do controle automático, com padrões acadêmicos de construção coletiva e de justificação plenamente aceitos e que caracterizam a cultura científica moderna. Essa comunidade organiza-se em torno de sociedades acadêmicas (SBA, IFAC e CSS/IEEE), e “socializa” o conhecimento através de publicações e eventos acadêmicos, ambos assessorados por revisores e editores escolhidos dentre os membros mais renomados da própria comunidade. A dinâmica desta estrutura acadêmica está sujeita a perturbações sócio-culturais internas e externas de diversas naturezas, tais como as expectativas paradigmáticas e o financiamento à pesquisa, todas abordadas em Kuhn (1962) e em diversos outros trabalhos epistemológicos contemporâneos.

A partir desta dinâmica de desenvolvimento chegou-se ao estado da arte atual do controle automático, e que serve de importante referencial para o modelo epistemológico desta tese. A seguir, procura-se indicar uma rápida compreensão orgânica do conhecimento envolvido a partir de quatro diferentes perspectivas. Em seguida, far-se-á uma verificação, a partir destas perspectivas, da produção acadêmica da área, abordando-se por fim o estágio atual do processo de construção do conhecimento da área.

### **2.3.1 Perspectivas do Conhecimento**

Esta seção aborda os conhecimentos do controle automático a partir de quatro perspectivas complementares que apresentam nuances epistemológicas relevantes, embora sejam intimamente interdependentes e estejam presentes em quaisquer problemas da área. Não se pretende desenvolver uma análise baseada em classificações superficiais, com uma dissecação epistemológica esteticamente atraente, que enfatize diferentes subáreas do controle automático, como já promovido pela própria estrutura sociológica da academia, mas se busca a percepção integrada do conhecimento, em direção à melhor compreensão epistemológica.

As perspectivas consideradas para o sistema de conhecimentos relacionados ao controle automático são as de sistema, topologia, lógica e suporte material. O sistema e a

topologia representam perspectivas complementares da apreensão metafísica (abstração de segundo nível) da realidade (a partir de teorias do concreto – abstrações de primeiro nível), enfatizando as entidades e suas relações, respectivamente. A perspectiva lógica, por sua vez, está relacionada à dinâmica decisória do processo de controle, enquanto que o suporte material enfoca a perspectiva material (tecnológica) do processo de controle. Esta seqüência é propositada, pois reflete a própria *dinâmica epistemológica* do controle, ao partir da apreensão sistêmica da realidade (sistema e topologia), passando pela construção metafísica (lógica) e retornando à realidade (suporte material), agora sob uma perspectiva de controle, que dependerá do adequado tratamento dado a cada perspectiva particular considerada.

### **Sistema**

A apreensão metafísica do concreto sustenta o desenvolvimento do conhecimento do controle automático, partindo das teorias particulares do concreto em direção à sistematização abstrata da realidade. Para otimizar tal apreensão, a realidade deve ser percebida através de conceitos simples e que permitam sua representação em diversos níveis. A noção de sistema atende esta necessidade, com a realidade sendo percebida como um sistema de sistemas, cada qual com seus subsistemas e suas inter-relações. Tal ênfase, marcante no controle automático, é filosoficamente caracterizada através da *ontologia sistêmica* de Mario Bunge (Bunge, 1983b).

Quando a apreensão sistêmica da realidade envolve uma perspectiva de controle, deve-se introduzir sua semântica própria, a partir dos sistemas controlador e controlado. Esta caracterização depende do sistema de regras considerado e da assimetria nas relações internas do sistema de controle, que podem tornar-se relações de controle (do sistema controlador para o controlado) ou de realimentação (do controlado para o controlador).

A apreensão cognitiva dos sistemas concretos é tradicionalmente realizada através de aspectos particulares da realidade, sejam físicos, químicos, biológicos, sociais, econômicos etc; com a conseqüente emergência de áreas particulares do conhecimento (*epistemologia cartesiana*), cada qual impondo modelos próprios da realidade (teorias do concreto). A perspectiva de sistema do controle opera sobre estes modelos particulares na busca da reconstrução metafísica da realidade, ou seja, procura obter modelos gerais dos sistemas da realidade, como se pode observar, por exemplo, na introdução dada por Bunge (1983c, pp. 92-95) aos sistemas biológicos, com a descrição destes a partir de uma semântica de controle. O desenvolvimento desses modelos gerais depende de conceitos e mecanismos de representação e análise imunes às semânticas das áreas particulares, estando baseados

estritamente na lógica e na matemática, através, por exemplo, de arcabouços algébricos, estocásticos, neurais, genéticos, especialistas etc.

A comunidade, por sua vez, vem distinguindo os modelos gerais através de diversas classificações que decorrem essencialmente da base lógico-matemática empregada: modelos contínuos, discretos ou a eventos; estáticos ou dinâmicos; lineares ou não lineares; quantitativos ou qualitativos; monovariáveis ou multivariáveis, freqüenciais ou temporais. Pode-se, assim, ter um modelo monovariável, dinâmico, contínuo, quantitativo, linear e na freqüência, com um complementar no tempo; ou ainda um modelo a eventos, qualitativo e não linear. Inúmeras são as possibilidades, cada qual podendo apresentar meios próprios de representação e análise. Os modelos a eventos discretos, por exemplo, com seus inúmeros autômatos, e os modelos contínuos com seus diversos diagramas.

Na prática, a definição do modelo geral a ser utilizado depende da conjuntura entre a natureza do sistema modelado e os aspectos relevantes de representação/utilização, partindo da aplicação analítica de teorias científicas (modelos de conhecimento) e/ou da aplicação de técnicas e algoritmos de identificação (modelos de representação), sendo estes últimos uma área de concentração de pesquisa em controle automático que envolve a intermediação de teorias matemáticas do concreto. Eventualmente, podem ser, inclusive, utilizados modelos híbridos, com o diálogo entre diferentes espécies de modelos.

São especialmente relevantes na abstração dos sistemas: sua natureza dinâmica, as influências do meio ambiente e a *complexidade* (Anexo A.5) dos modelos particulares decorrentes das simplificações presentes nas teorias do concreto ou a ela impostas pelo próprio controle. Tais fatores, inerentes à realidade a modelar, podem dificultar a modelagem, inclusive inviabilizando o tratamento analítico e impondo a utilização de modelos numéricos.

Da qualidade da apreensão metafísica depende o posterior grau de conhecimento do processo de controle sobre o(s) sistema(s) controlado(s), garantindo-se maior ou menor grau de acuidade à lógica de controle e à respectiva aplicação de controle.

### **Topologia**

A abstração das entidades é complementada pela abstração de suas inter-relações, que definem a topologia da realidade. Entretanto, a epistemologia cartesiana, analítica em sua essência, minimiza a relevância do estudo topológico ao valorizar o conhecimento da realidade pelo conhecimento de suas partes. Ocorre que as partes da realidade não estão isoladas, interagindo em relações que podem refletir aspectos de controle e/ou de realimentação em diferentes formas e em diferentes graus de complexidade.

Nesse contexto, a topologia da realidade é ainda pouco explorada pela comunidade de controle automático, conforme demonstrado na próxima seção, devendo-se destacar, contudo, uma preocupação especial nos modelos a eventos discretos, decorrente da diversidade topológica inerente aos sistemas de manufatura. Tende-se, em geral, a enxugar a questão topológica ao máximo, limitando-se a topologia da realidade sob a perspectiva de controle a um sistema controlador e a um sistema controlado que interagem mutuamente, o que, em uma epistemologia cartesiana, atenderia à área.

### **Lógica**

A perspectiva lógica está voltada para a definição dinâmica do processo de controle, determinando suas ações, o que depende diretamente do sistema de regras em que irá operar e do conhecimento sobre a realidade a controlar, que depende da qualidade no monitoramento e/ou na inferência do comportamento do sistema controlado. Ele depende diretamente, portanto, dos resultados das perspectivas anteriores (sistema e topologia), bem como das limitações impostas pelo suporte material, sendo nela que as demais se integram para a consolidação do controle em seu nível próprio, o metafísico. É, portanto, esta perspectiva que caracteriza a essência do conhecimento em controle, enquanto as outras promovem a interface deste conhecimento com a realidade e as teorias do concreto.

A definição da perspectiva lógica, partindo-se da realidade conhecida para a busca da realidade desejada pelo sistema de regras, pode ocorrer em diferentes graus. No controle adaptativo, por exemplo, o conhecimento da realidade controlada é previamente interpretado para a definição de um modelo de otimização. Pode ocorrer também a aplicação de uma lógica voltada para a definição dinâmica do sistema de regras dos níveis inferiores, como no caso do controle da manufatura em relação aos processos particulares. Assim, um sistema de controle pode operar em diferentes níveis hierárquicos e sob diferentes ênfases, que se refletem em sua lógica decisória. É papel específico do especialista em controle (e portanto do engenheiro) garantir o diálogo entre os diferentes níveis e perspectivas de controle em um dado sistema qualquer, promovendo a eficácia dos sistemas de controle.

### **Suporte Material**

O que diferencia a ênfase em controle da metafísica científica é sua finalidade pragmática, com o necessário respaldo técnico e/ou tecnológico. Esse suporte material é o filtro último que irá determinar o que será factível ou não em termos de controle da realidade,

devendo acompanhar e se possível antecipar as perspectivas anteriores, viabilizando tanto o controle experimental quanto a posterior aplicação de controle (*controle aplicado*).

A perspectiva de suporte material representa assim a face tecnológica do controle, sendo especialmente relevante em sua engenharia, embora dependa do domínio intelectual das demais perspectivas. Envolve a busca de novos materiais e sistemas técnicos, para a definição de suportes materiais à medição, à atuação, à transmissão e à conversão de sinais, e à operacionalização da lógica de controle (controladores).

### 2.3.2 Produção Acadêmica

O conhecimento em controle foi na seção anterior abordado segundo quatro diferentes perspectivas que definem uma dinâmica epistemológica para o controle segundo um enfoque tecnológico, partindo-se da realidade para o contexto metafísico, e retornando-se à realidade para a aplicação do controle. Esta dinâmica acaba se reproduzindo na própria academia, com uma produção que envolve desde a identificação, modelagem e análise de sistemas e topologias, passando pelo desenvolvimento metafísico do controle, e convergindo para sua experimentação e aplicação. Para ilustrar esse contexto, no Anexo B é apresentado um levantamento que verifica o enfoque dado pelas instâncias internacional, nacional e local de controle, tomando como base os últimos eventos gerais na área: o 2002'IFAC World Congress (internacional) e o XIV Congresso Brasileiro de Automática (nacional e local).

Nos âmbitos nacional e internacional foram avaliadas as diversas sessões técnicas implementadas, enquanto que no âmbito local foram considerados os artigos apresentados pelos membros do Departamento de Automação e Sistemas da UFSC no evento nacional. O resumo do levantamento é dado na tabela 1:

Instância	Perspectiva Principal			
	Sistema	Topologia	Lógica	Sup. Mat.
Internacional (Sessões Técnicas)	54 / 23,4%	7 / 3,0%	90 / 39%	80 / 34,6%
Nacional (Sessões Técnicas)	8 / 10,1%	4 / 5,1%	20 / 25,3%	47 / 59,5%
Local (Artigos)	4 / 16%	2 / 8%	13 / 52%	6 / 24%

Tabela 1 – Produção em Eventos Gerais de Controle Automático em 2002

As sessões técnicas dos dois eventos e os artigos propostos por membros da comunidade local de controle da UFSC tiveram determinada sua perspectiva de controle levando-se em consideração sua ênfase principal. Assim, por exemplo, trabalhos em controle nebuloso aplicado foram considerados segundo uma perspectiva lógica (controle nebuloso) enquanto que trabalhos em controle robótico foram considerados segundo uma perspectiva

aplicada (controle aplicado a sistemas robóticos). Esta classificação, que é superficial e envolve apenas uma pequena amostra da produção acadêmica, esboça os interesses da comunidade acadêmica do controle automático em três níveis distintos.

Os dados quantitativos da tabela 1 indicam um equilíbrio na comunidade internacional para as três etapas epistemológicas do controle: a apreensão da realidade (26,4%), o tratamento metafísico (39%) e a perspectiva tecnológica (34,6%). Já a comunidade nacional apresenta uma maior ênfase na perspectiva tecnológica (59,5%), em detrimento do tratamento metafísico (25,3%) e da apreensão da realidade (15,2%), o que demonstra a ênfase da comunidade nacional na perspectiva tecnológica do controle, especialmente em função das 26 sessões técnicas relacionadas direta ou indiretamente a sistemas de potência. Caso desconsideradas essas sessões, que demonstram a profunda dependência da comunidade nacional de controle automático com a engenharia elétrica, ter-se-iam percentuais para as perspectivas do controle de 22,6%, 37,8% e 39,6%, semelhantes aos internacionais, mas ainda com uma maior ênfase na perspectiva tecnológica (suporte material).

A grande influência da engenharia elétrica na comunidade nacional de controle automático, onde “Qualidade de Energia” e “Estabilidade de Tensão”, por exemplo, apresentam 3 sessões técnicas cada (3,8% do total), é contrabalançada internacionalmente por uma perspectiva mais ampla do controle; que engloba áreas como a aeroespacial; os sistemas mecânicos, biomédicos, ambientais, agrícolas, econômicos, automotivos e marítimos; os processos químicos e de mineração; a aeronáutica e a hidráulica. Em ambos os níveis, há ainda uma ênfase relevante em sistemas robóticos, com 12 (5,2%) sessões técnicas no nível internacional e 8 (15,9%) no nacional. Enfim, os números indicam que a comunidade nacional de controle automático está bastante limitada à engenharia elétrica e à robótica, tendo seus membros de buscarem apoio em outras comunidades ou diretamente no nível internacional quando produzem estudos relacionados ao envolvimento do controle com outras realidades.

A comunidade local de controle automático, por sua vez, ao estar baseada em um departamento de sistemas (Departamento de Automação e Sistemas) e em um destacado grupo de pesquisa em controle (Laboratório de Controle e Microinformática – LCMI), tem menor influência da engenharia elétrica e uma maior disponibilidade para o envolvimento com o tratamento metafísico próprio do controle, conforme a tabela 1.

Em relação às perspectivas de sistema e de topologia da apreensão da realidade pelo controle metafísico, confirma-se a indicação anterior de pouca ênfase no estudo da topologia dos sistemas de controle, com somente 3,0%, 5,1% e 8% da produção nos níveis internacional, nacional e local, embora temas do evento internacional, tais como sistemas

ambientais e automotivos, possam conduzir à perspectiva de topologia. Tem-se ainda a carência de linhas de pesquisa específicas em questões topológicas, onde a retroalimentação negativa em malha única, especialmente por sua simplicidade e sua efetividade, é priorizada em detrimento de estruturas com dois graus de liberdade, feedforward e em cascata, dentre outras, e dos controles distribuído e hierarquizado. A compreensão de controladores naturais, por outro lado, com seus múltiplos laços de realimentação, representa importante referencial a ser trabalhado para o desenvolvimento topológico do conhecimento em controle.

Em termos de perspectiva lógica, tem-se que o maior potencial computacional disponível e recentes contribuições teóricas, aliados à natureza não linear dos sistemas de controle em geral, têm reduzido a predominância da pesquisa em controle clássico, apesar de sua influência ainda paradigmática. Surgem diversas áreas de concentração de pesquisa, tais como: controles robusto, nebuloso, adaptativo, inteligente, ótimo, supervisorio, a modos deslizantes, preditivo etc., além de alternativas híbridas.

Já em relação ao suporte material, as múltiplas perspectivas de aplicação do controle vem sendo estendidas pelos avanços em materiais, sistemas micro-eletromecânicos, e em tecnologia médica e biológica (Antsaklis et. al., 1999, p. 58), além do tratamento de sinais e do suporte digital oriundos das tecnologias da informação, e dos desenvolvimentos em instrumentação, com seus dispositivos de medição, atuação e controle. Essas tecnologias se unem à evolução das teorias do concreto para expandirem o potencial de aplicação do conhecimento em controle, motivando a busca da contrapartida necessária nas perspectivas anteriores do controle automático: a apreensão da realidade e o tratamento metafísico.

Após esta rápida incursão nas linhas de pesquisa em controle automático, é apresentado, em seguida, um panorama geral do processo de construção do seu conhecimento.

### **2.3.3 Processo de Construção do Conhecimento**

Foram apresentadas diferentes perspectivas do conhecimento do controle que indicam sua dinâmica epistemológica na relação entre metafísica e realidade e se refletem na própria pesquisa da área, conforme indicado na seção anterior. Este conhecimento é resultado de um processo histórico, citado anteriormente, que foi conduzido dentro de um contexto filosófico cartesiano/newtoniano, mas cujos pilares essenciais, como a física newtoniana, a dicotomia entre mente e corpo, e a análise cartesiana, vêm passando por um longo processo de crise e substituição, conforme a seguir resumido por Doyle.

*“O século XX pode ser visto quase como o encerramento da primeira ‘revolução’ científica, que buscou uma visão simples, certa, reproduzível da*

*natureza, em parte por uma radical supressão da complexidade e da incerteza(...) A comunidade científica tem procurado caracterizar a matéria 'fundamental' e as propriedades dos sistemas naturais e, em contraste, tem fornecido poucas ferramentas rigorosas e preditivas para o relacionamento com a complexidade e incerteza do 'mundo real' fora do laboratório. (...) A teoria existente é bastante desconexa e fragmentada, e criar um panorama mais unificado de computação, dinâmicas, realimentação e informação é o grande desafio da próxima década ou século." (Doyle apud Antsaklis, 2000, p.52)*

O controle automático reflete bem este contexto, com a existência de uma teoria clássica bem estruturada e a emergência de diversas novas técnicas e teorias. As bases do controle clássico, consolidadas, foram elaboradas a partir de um conjunto particular de técnicas matemáticas decorrentes da matemática aplicada dos séculos XVIII e XIX, com destaque para álgebra linear e o cálculo. Já as novas técnicas e teorias, que procuram reconhecer as dificuldades inerentes às abstrações de primeiro nível (das teorias do concreto), resultam tanto de extensões do controle clássico, como nos controles adaptativo e robusto, quanto da busca por novas bases de representação, como as baseadas em autômatos, lógica nebulosa e redes neurais.

Nesse desenvolvimento, os modelos qualitativos tornam-se mais relevantes (Bissell, 1999b, p. 46), através de aspectos como robustez, observabilidade e controlabilidade, que se unem à estabilidade no estudo de sistemas tecnológicos de controle. Entretanto, não há ainda um novo panorama unificado de 'computação, dinâmicas, realimentação e informação'. Segundo Murray et. al. (2003, p. 5), o desafio para a comunidade de controle é abandonar a visão tradicional de sistemas de controle como um processo simples com um único controlador para reconhecê-los como conjuntos heterogêneos de sistemas físicos e de informação, com interações e interconexões intrincadas. O fato de que "poucos matemáticos têm tido interesse em métodos numéricos e algoritmos, deixando este campo para matemáticos aplicados, cientistas da computação e engenheiros" (Bryson, 1996, p. 28), tem auxiliado a manter a visão tradicional, com uma teoria que não se mostra adequada ao tratamento simultâneo de dinâmicas contínuas e simbólicas (Murray et. al., 2003, p. 5).

Por outro lado, embora o controle clássico predomine no mercado, percebe-se um moderado e contínuo processo de mudança para as novas formas de controle (Samad, 1996; Kheir et. al., 1996, p. 153), catalisado pela informática e as redes de comunicação, e pela crescente integração da manufatura, que fizeram surgir sistemas tecnológicos de controle mais complicados, com a conseqüente busca de novos enfoques metafísicos (Cassandras apud Thiele, pp. 1-2). Esses novos sistemas de controle tendem a impor restrições adicionais,

aumentando rapidamente a dificuldade do problema de controle (Bernstein, 2003, p. 14), com a respectiva necessidade da (r)evolução na qualidade dos sistemas de resolução, que tendem a se moverem para níveis mais elevados ligados à tomada de decisão Murray et. al. (2003, p. 5).

Nessa dinâmica de ‘ruptura’, destacam-se duas vias principais: a consolidação de novas bases racionais que sejam capazes de lidar com os novos horizontes de controle e que incluam a incerteza, minimizando a complexidade; e a evolução do suporte tecnológico disponível para melhorar as condições de desenvolvimento e de aplicação em controle. Em ambos os casos, a informática vem tendo papel fundamental, pois além de acelerar em muito o desenvolvimento tecnológico, tem propiciado um grande aprimoramento na lógica e na matemática discreta, com reflexos diretos no conhecimento em controle, com a busca de uma nova perspectiva metafísica, que transcenda a matemática tradicional. Neste segundo ponto, o desafio se torna a integração entre a razão matemática clássica e as novas bases racionais para a consolidação do conhecimento em controle em torno de teorias metafísicas comensuráveis entre si. Ressalte-se que a relevância da lógica e da respectiva tomada de decisão em sistemas de controle vem crescendo rapidamente, com a necessária participação da comunidade de controle em contextos até então limitados à inteligência artificial (Murray et. al., 2003, p. 16).

Externamente, o próprio desenvolvimento científico, com sua evolução e eventuais unificações de teorias do concreto, tende a aproximar o controle automático e suas teorias da realidade dos sistemas sociais e naturais, favorecendo a consolidação geral do conhecimento em controle, com a integração de elementos dispersos em outras áreas, como a cibernética. Neste processo, a compreensão epistemológica do controle é fundamental para a eliminação de barreiras cognitivas que dificultem a expansão do conhecimento do controle automático para além da tecnologia, em direção a áreas não técnicas, tais como a medicina, a economia e a administração (Kheir et. al., 1996, p. 147; Djaferis, 1999, p. 1267).

Internamente, os membros da comunidade de controle automático influenciam o processo através de fatores sociológicos e psicológicos bem abordados por Kuhn (1962) e considerados por Bunge (1983d, p. xiv). Sob esta dinâmica subsiste outra que é decorrente da própria natureza conhecimento em controle. O controle experimental apresenta caráter complementar no desenvolvimento do conhecimento em controle. Enquanto enunciados científicos podem estar originalmente baseados em resultados empíricos, ou mesmo em seu equacionamento (caso da física quântica), o desenvolvimento do conhecimento em controle somente usa estes resultados na sua justificação concreta. Em outras palavras, enquanto a ciência interpreta e sistematiza os fenômenos concretos para a definição de modelos e teorias

científicas, o controle interpreta e sistematiza estes modelos e teorias, dentre outros conhecimentos sobre o concreto, na definição e aplicação de modelos e teorias metafísicas.

Os resultados experimentais não são assim diretamente aplicados na criação de conhecimentos teóricos em controle (podem sê-lo no caso de conhecimentos científicos), mas dependem da intermediação de teorias específicas que os racionalizem. Os modelos inerentes a estas teorias do concreto é que serão os “resultados experimentais”, servindo de fontes para a criação de novos conhecimentos em controle com as bases lógico-matemáticas disponíveis.

Os fenômenos concretos tornam-se diretamente relevantes ao controle apenas na demarcação dos limites de suas teorias e sistemas técnicos, desenvolvidos originalmente no espaço metafísico. Este processo de validação concreta do conhecimento, por apresentar menores requisitos metafísicos em uma formação acadêmica contemporânea que valoriza o concreto (herança do empirismo), acaba sendo priorizado, com intensa produção acadêmica. Deste modo, aos mais variados processos físicos são aplicadas diferentes combinações possíveis de teorias e técnicas de controle, com a conseqüente multiplicidade de resultados experimentais, nem sempre integrados à teoria. A esta realidade, adicione-se a recorrência de condições experimentais inadequadas e de resultados ambíguos ou direcionados, e ter-se-á um contexto confuso embora positivo de desenvolvimento epistemológico secundário.

Este processo acadêmico secundário é complementado com o boom recente da automação, que levou ao surgimento de inúmeras aplicações para o controle em diversos setores da tecnologia e da sociedade, tais como os transportes, a indústria e o comércio, além de diversos campos de estudo, como a biologia, a economia e a medicina (Antsaklis et. al. 1999, p. 54), incentivando sobremaneira as pesquisas na área. Como conseqüência desta profusão tecnológica, torna-se ainda mais relevante a consolidação de bases teóricas de sustentação, com a necessidade do desenvolvimento primário (metafísico) de conhecimentos em controle. Apesar disto, o foco atual da sua comunidade permanece bastante direcionado ao melhor aproveitamento dos recursos computacionais, inclusive para o aprimoramento na aplicação das teorias já consolidadas. Balchen (1997, p. 105), por exemplo, enfatiza este enfoque ao afirmar que o desenvolvimento em informática é o gargalo do controle aplicado.

O gargalo epistemológico do controle automático é a carência de estudos que caracterizem devidamente a natureza de seu conhecimento, que tende assim a estar disperso e fragmentado em várias instâncias. Esta fragmentação histórica, embora tenha alavancado o desenvolvimento do conhecimento em controle, dificulta a consolidação da área, gerando um dilema que é indevidamente menosprezado pela falta de um referencial filosófico próprio que propicie o necessário debate sobre a área, que aparece de forma tímida nas esferas pedagógica

e profissional do controle automático. A atual carga de trabalho em controle é enorme (e tende a aumentar), de modo que esforços devam ser aplicados na unificação das bases racionais existentes em uma forma mais compacta (Murray et. al., 2003, p. 15).

Um debate filosófico próprio carece de um modelo epistemológico específico, com uma melhor compreensão do processo de construção e estruturação do conhecimento, mesmo individualmente, através de um modelo pedagógico adicional. Tal modelo epistemológico é sintetizado a seguir, baseado no estudo epistemológico deste capítulo.

## 2.4 MODELO EPISTEMOLÓGICO

Prestaram-se no estudo deste capítulo diversas argumentações relacionadas à epistemologia do conhecimento em controle, considerando-se tanto a concepção ideal quanto a ênfase tecnológica própria [da área] do controle automático. Este estudo, ao oferecer uma perspectiva racional da realidade do conhecimento em controle, também se contrapôs ao senso comum do conhecimento em controle como essencialmente tecnológico. São a seguir apresentadas hipóteses nele sustentadas que caracterizam o modelo epistemológico desta tese, o qual irá fundamentar as incursões pedagógicas dos capítulos seguintes.

**Hipótese 1:** *As teorias de controle são metafísicas.*

As teorias relacionadas à representação, à interpretação e ao controle de classes de sistemas [de controle] em geral, envolvendo abstrações de segundo nível, são metafísicas, isto é, não objetivam o atendimento de sistemas concretos específicos, mas o atendimento de classes abstratas de sistemas através de formas unificadas de representação e de interpretação. Assim é todo o arcabouço teórico do controle clássico, do controle moderno e do controle baseado em lógicas, além de teorias em desenvolvimento em outras áreas ligadas ao controle como as cibernéticas de primeira e de segunda ordem. A percepção do alcance geral das teorias é fundamental para não se cair na tentação de estudar o controle em função de casos particulares de aplicação, o que tanto poderia conduzir à ciência como à tecnologia.

**Hipótese 2:** *O conhecimento em controle é metafísico.*

Se as teorias de controle são metafísicas, demonstrando a busca por teorias gerais de representação, interpretação e controle de classes abstratas de sistemas, então, conseqüentemente, o próprio conhecimento em controle é metafísico, conforme corroborado na parte inicial deste capítulo.

**Hipótese 3:** *A ontologia do conhecimento em controle é sistêmica.*

Sendo metafísico, o conhecimento em controle busca representações gerais das coisas. Nesta direção, exige a aplicação de uma ontologia que trate a realidade através de conceitos simples e que permita sua representação em diversos níveis. A ontologia que permite tais condições é a sistêmica, onde a realidade é representada na forma de sistemas, suas propriedades e seus subsistemas, que também são sistemas. O conceito de sistema é o conceito elementar de qualquer teoria de controle, permitindo a abstração necessária da realidade para o controle. Quando a ontologia sistêmica é aplicada ordenadamente, seguindo métodos de desenvolvimento e justificação, através de uma comunidade acadêmica, ela pode ser denominada de metafísica científica (embora não restrita ao diálogo com o conhecimento científico, pois se trata de mera referência ao método científico e à sua estrutura acadêmica).

**Hipótese 4:** *A matemática e a lógica sustentam o conhecimento em controle.*

A representação abstrata da realidade requer a utilização de linguagens de representação e interpretação abstraídas da realidade concreta, sem uma semântica real pré-determinada. A matemática e a lógica têm esta condição, sustentando o desenvolvimento metafísico do conhecimento em controle, com a realidade sendo abstraída da semântica de suas ciências particulares na busca de modelos gerais que definam os aspectos semânticos das bases lógico-matemáticas enquanto linguagens para o controle. Neste ponto, deve-se atentar para a comensurabilidade entre diferentes tipos de controle, com diferentes ênfases lógico-matemáticas, para possibilitar a coerência semântica entre as diferentes representações de um sistema de controle. Ainda sob um ponto de vista semiótico, a face pragmática da matemática e da lógica é definida pelo próprio contexto do controle experimental e/ou aplicado.

**Hipótese 5:** *O conhecimento em controle difere da ontologia sistêmica ou metafísica científica em sua finalidade.*

Apesar de intimamente ligado à representação e interpretação da realidade na metafísica científica, o conhecimento em controle se diferencia desta na finalidade. Enquanto ela e a ontologia sistêmica buscam a abstração da realidade sem uma finalidade aparente, mas apenas pela capacidade de representar e interpretar, o controle associa uma intencionalidade, através de seu sistema de regras naturais e/ou definidas pelo homem. Esta perspectiva de ação sobre a realidade, que define o próprio controle, é o que distingue seu conhecimento daquele meramente metafísico, sendo normalmente irrelevante em função da necessidade humana de impor uma finalidade a todo e qualquer conhecimento, de modo que a metafísica é uma concepção epistemológica que encontra respaldo concreto através do controle.

**Hipótese 6:** *As teorias do concreto e o suporte material intermediam a relação do controle com sua finalidade, definindo sua dinâmica epistemológica.*

O diálogo entre o conhecimento em controle e a realidade concreta, na busca da realização de sua finalidade, é intermediado de um lado pelas teorias de concreto, e do outro pelo suporte material do controle. As teorias do concreto, científicas ou não, fornecem modelos do concreto que serão aplicados nos desenvolvimentos do controle, consistindo em um nível intermediário na relação da realidade para o controle. A relação do controle para a realidade, por sua vez, é intermediada pelo suporte material do controle, que materializa os resultados metafísicos de controle. Este processo define a dinâmica epistemológica do controle: a abstração de segunda ordem da realidade, o tratamento metafísico em uma perspectiva de controle e a conseqüente ação sobre a realidade.

**Hipótese 7:** *As teorias do concreto são o objeto do controle.*

As teorias do concreto procuram abstrair faces específicas da realidade em modelos particulares. O conhecimento em controle, por sua vez, tem no universo das teorias do concreto sua realidade própria, ou seja, é através das teorias do concreto que o controle conhece a realidade concreta (apreensão metafísica da realidade), consistindo, portanto, em um segundo nível de abstração desta. Não cabe ao conhecimento em controle, portanto, tratar de teorias sobre a realidade concreta, mas utilizar as existentes para (r)evolucionar suas próprias teorias. A interface entre as teorias do concreto e as metafísicas é constituída a partir da matemática e da lógica, que adaptam as primeiras às segundas.

**Hipótese 8:** *O desenvolvimento tecnológico tende à aproximação epistemológica ao controle.*

O surgimento e a expansão da metafísica científica, na figura do conhecimento em controle, devem-se especialmente ao acelerado desenvolvimento tecnológico. Os maiores níveis de integração da tecnologia empregada exigem a adoção de um maior grau de abstração da realidade, de onde emerge uma conseqüente pressão para o desenvolvimento metafísico. Neste processo, o conhecimento científico aplicado torna-se cada vez mais implícito, com a tendência de ter sua influência direta limitada aos detalhes mais íntimos da tecnologia e ao desenvolvimento de tecnologias inexistentes. O espaço restante tende a ser preenchido pelo conhecimento em controle, em paralelo ao crescimento de sua relevância tecnológica e conseqüentemente das respectivas bases racionais.

**Hipótese 9:** *O senso-comum tem modelado o conhecimento em controle como científico e/ou tecnológico.*

Apesar da relevância atual do conhecimento em controle, a ineficiência em sua definição epistemológica, até por inércia histórica, impede que seja devidamente caracterizada sua natureza, a metafísica, no percurso entre as teorias do concreto e sua aplicação prática, principalmente no tocante à ciência e à tecnologia. Acaba-se, deste modo, gerando-se um senso-comum que impõe ao controle uma semântica ora científica, ora tecnológica, indevidamente confundidas com a teoria e a prática do controle, respectivamente. O espaço metafísico na relação do conhecimento em controle com a realidade, cada vez mais presente e necessário, não pode ser epistemologicamente desconstituído ou menosprezado.

**Hipótese 10:** *O controle clássico é o paradigma do conhecimento em controle.*

O controle clássico é o primeiro arcabouço teórico onde uma linguagem metafísica transcendeu o aspecto meramente ferramental para definir as primeiras noções teóricas em controle, com destaque para a estabilidade e a realimentação. Tornou-se, assim, o paradigma do conhecimento em controle, influenciando os desenvolvimentos posteriores.

**Hipótese 11:** *As teorias de controle apresentam dois níveis de justificação.*

As teorias metafísicas do controle adicionam um segundo grau de abstração à realidade concreta, necessitando, portanto, serem justificadas em dois níveis: nas teorias do concreto e na realidade concreta propriamente dita. A adequação de uma teoria metafísica a determinadas teorias do concreto não garante sua adequação às respectivas realidades concretas, em função da integração das hipóteses de abstração dos dois níveis. Este contexto é claramente observado nos modelos de representação, onde sistemas complexos são geralmente identificados na forma de modelos algébricos lineares, com a evidente exclusão de parcela da realidade concreta.

**Hipótese 12:** *O controle experimental justifica as teorias de controle.*

No nível superior de abstração da realidade, persiste certo espaço analítico de justificação das teorias de controle em relação às teorias do concreto, através de interfaces lógico-matemáticas que permitem demonstrar as hipóteses de abstração. Entretanto, no nível inferior de abstração, na validação direta com a realidade concreta, as teorias metafísicas dependem da experimentação para a introdução de componentes não metafísicos de justificação, e que demonstrarão que a teoria metafísica é efetivamente uma teoria de controle, atendendo a alguma finalidade concreta. Esta justificação da teoria de controle para além do

espaço puramente metafísico é realizada pelo controle experimental com a demonstração do diálogo potencial entre teoria e realidade. No entanto, tem sido comum a dissimulação do controle experimental através de experimentos baseados em simulações virtuais do concreto que tão somente replicam os modelos do concreto, em nada verificando a relação efetiva com a realidade. Este controle “virtual” definitivamente não é experimental, nem mesmo com a inclusão virtual de perturbações e outras complexidades.

**Hipótese 13:** *O controle aplicado difere do experimental na finalidade.*

O controle aplicado corresponde a qualquer forma de controle com finalidades imediatas, incluindo: i) todas as formas naturais de controle; ii) a aplicação das teorias metafísicas na engenharia da tecnologia; iii) as diversas técnicas de controle, que diferem da aplicação tecnológica do controle ao não estarem diretamente baseadas em teorias metafísicas, mas em desenvolvimentos numéricos empíricos. O controle aplicado está vinculado ao mesmo contexto concreto do controle experimental, diferenciando-se somente quanto a sua finalidade. Enquanto o controle experimental tenciona a justificação das teorias metafísicas, o controle aplicado busca a utilização de teorias metafísicas já justificadas. De qualquer modo, toda aplicação de controle não deixa de ser uma justificação da teoria, e toda justificação não deixa de representar uma perspectiva concreta de aplicação, não havendo uma distinção rígida entre controle experimental e aplicado. Esta diferenciação é conceitual e visa proporcionar maior clareza na compreensão dos conhecimentos em controle, com reflexos relevantes no modelo pedagógico do próximo capítulo.

**Hipótese 14:** *O controle experimental e o aplicado não são controle stricto sensu.*

Os conhecimentos em controle experimental e aplicado não têm natureza metafísica, mas viabilizam a finalidade concreta das teorias de controle, intermediando seu diálogo com a realidade concreta. Assim, buscam o desenvolvimento de técnicas próprias e do suporte material, em complemento aos conhecimentos próprios em controle metafísico.

**Hipótese 15:** *Os controles experimental e aplicado têm forte influência na comunidade do controle automático.*

A comunidade do controle automático, em seu pragmatismo, é bastante influenciada pelos controles experimental e aplicado, onde a facilidade na compreensão e aplicação de seus métodos atrai os esforços acadêmicos, especialmente na comunidade nacional, com menor ênfase na busca da apreensão da realidade e do desenvolvimento metafísico. Por outro lado, têm sido crescentes, nos últimos, esforços relacionados com o

desenvolvimento de novas formas de representação da realidade e de controle. Entretanto, tais esforços são prejudicados pela carência de estudos epistemológicos, inibindo-se o adequado diálogo com áreas externas ao controle automático, e prejudicando-se o desenvolvimento de conhecimentos metafísicos em controle, em prol de uma ênfase tecnológica que atenda a pressão pragmática pela aplicação do controle. Temas relacionados à apreensão da realidade e ao desenvolvimento metafísico, por exemplo, estão repletos de estudos de caso de controle experimental e/ou aplicado.

**Hipótese 16:** *A automação decorre diretamente do controle aplicado.*

A automação surge epistemologicamente a partir da inclusão de uma simples restrição ao controle aplicado: a ausência da ação humana direta. Assim, em tese não deixa de incluir todos os sistemas naturais de controle, tendo muitos destes influenciado no desenvolvimento de equivalentes artificiais. Do ponto de vista tecnológico, por sua vez, a automação estende a finalidade do controle aplicado ao também objetivar a substituição de mediações humanas por formas autônomas de controle. Esse conceito de automação (anexo A.2) diverge da noção recorrente da automação como controle da manufatura, que infere ao controle e à automação uma ambigüidade somente justificada por questões históricas, e não epistemológicas, contrariando pois todo o sistema conceitual aplicado nesta tese.

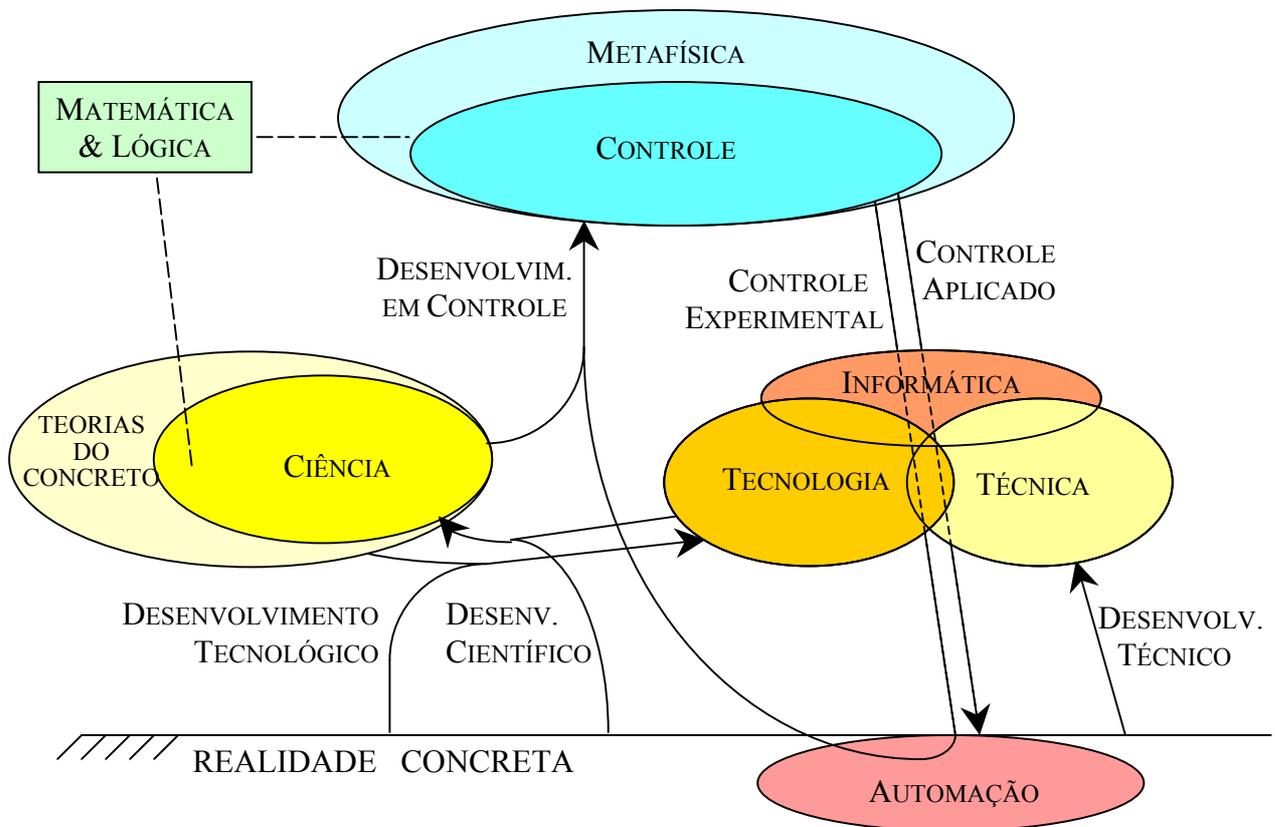
#### **2.4.1 Um Esquema do Modelo**

As hipóteses epistemológicas estruturam um modelo epistemológico para o controle, explicitando questões relacionadas à natureza do seu conhecimento e sua inserção na comunidade de controle automático, que academicamente sustenta a engenharia de controle. Para ilustrar os conceitos envolvidos na formulação desse modelo epistemológico, a figura 1 esquematiza as relações entre diferentes modalidades de conhecimentos direta ou indiretamente envolvidos com o desenvolvimento do conhecimento em controle.

As elipses representam as modalidades de conhecimento consideradas, sendo o conhecimento em controle metafísico, e a ciência englobando conhecimentos sistematizados sobre a realidade concreta. A tecnologia e a técnica (Anexo A.1), por sua vez, envolvem conhecimentos ligados à ação sobre a realidade, dando um sentido pragmático ao caráter de representação das teorias do concreto. A partir de ambas surgem as tecnologias da informação, de relevante importância para o tratamento do conhecimento em controle. Como linguagens de sustentação racional de tais conhecimentos, especialmente os científicos e metafísicos, estão a matemática e a lógica.

As setas indicam a dinâmica de desenvolvimento do conhecimento, onde o desenvolvimento científico está baseado na realidade concreta e na tecnologia, enquanto esta depende da ciência e está voltada para a realidade, em um processo de simbiose que tem sido o principal eixo de sustentação do desenvolvimento humano contemporâneo. O desenvolvimento técnico, por sua vez, ocorre diretamente a partir da realidade concreta, enquanto o desenvolvimento em controle, que deve caracterizar o próximo perímetro do desenvolvimento humano, ocorre a partir das teorias do concreto e dos resultados experimentais, que representam seus dois níveis de justificação.

Os controles experimental e aplicado representam a dinâmica do conhecimento em controle sobre a realidade, buscando em algum grau o desenvolvimento desta. O controle experimental de forma indireta, através do desenvolvimento do potencial de aplicação do conhecimento em controle, e o controle aplicado de forma direta, a partir da automação. Neste processo de expansão do conhecimento em direção à realidade concreta, é necessária a intermediação da informática, da tecnologia e da técnica, que fornecem o suporte material necessário.



**Figura 1** – Esquema do Modelo Epistemológico

Busca-se com este esquema, propiciar uma revisão das contribuições trazias neste capítulo, que constituem um modelo epistemológico para a engenharia de controle. A

compreensão da figura, que é indicativo do entendimento das contribuições deste capítulo, é pré-requisito para a posterior compreensão das contribuições do próximo capítulo, com a introdução ao modelo pedagógico.

## 2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo promoveu um estudo sobre o conhecimento em controle e sua natureza, que se estendeu por questões relacionadas à área de controle automático, e culminou com a definição de hipóteses que configuram o modelo epistemológico indicado na questão central da tese. Esse modelo mapeia questões coletivas relacionadas ao conhecimento em controle, que foi situado no contexto epistemológico mais amplo onde está inserido, e de onde cabe ressaltar a dissonância entre a clássica epistemologia cartesiana e a natureza metafísica desse conhecimento, o qual é essencialmente generalista e baseado em uma visão sistêmica da realidade. Desta distinção epistemológica decorrem diversos aspectos pedagógicos que serão abordados nos capítulos seguintes. Não se deve, contudo, confundir esta crítica sobre a influência de uma *epistemologia* cartesiana<sup>2</sup> à formação em engenharia de controle com as importantes e necessárias contribuições da *metodologia* cartesiana, que vem catalisando o desenvolvimento técnico da engenharia e o epistemológico do controle.

Enfim, a racionalização dos aspectos coletivos do conhecimento em controle dada pelo modelo deste capítulo, especialmente em relação à sua natureza metafísica e aos conceitos de controle experimental e aplicado, fornece bases necessárias para uma compreensão mais aprofundada dos aspectos individuais deste mesmo conhecimento, que são abordados no próximo capítulo através de um modelo pedagógico para a engenharia de controle, fórum de formação onde ocorre a ênfase tanto nos conhecimento metafísicos em controle, quanto nos controles experimental e aplicado.

---

<sup>2</sup> A epistemologia cartesiana é de fato uma radicalização da metodologia cartesiana que acaba impondo concepções inadequadas ao ensino, incompatíveis com conceitos adotados neste trabalho como o de concepções prévias e bloqueios epistemológicos, introduzidos no próximo capítulo.

### 3 ESTUDO PEDAGÓGICO

Este capítulo aborda a formação em engenharia de controle, em especial no Brasil, na busca de um modelo pedagógico, tendo como referência o modelo epistemológico do capítulo anterior, onde se verificou, dentre diversos outros aspectos relevantes, que o controle é pautado em seus fundamentos por níveis de abstração superiores aos usualmente verificados na ciência e na tecnologia, e por consequência nos cursos de engenharia.

Tal realidade epistemológica dificulta, conforme é abordado neste capítulo, a apreensão do conhecimento em controle pelas cognições individuais. Neste processo, deficiências no ensino tendem a repercutir negativamente no aprendizado, promovendo um efeito introduzido por Bachelard (1938) onde um processo distorcido de aprendizagem torna a formação ainda mais complicada do que a iniciando inteiramente do zero. Isto sem considerar as concepções prévias dos alunos, muitas vezes decorrentes do senso-comum e que interferem no processo de aprendizagem, podendo auxiliá-lo ou mesmo bloqueá-lo em certos aspectos. Para Bachelard, o efeito bloqueador é catalisado por posturas pedagógicas errôneas ou distorcidas, enfim, sem base epistemológica. No caso particular da engenharia de controle, a carência de um modelo epistemológico para o conhecimento em controle pode promover o uso intuitivo de conhecimentos científicos, tecnológicos e em informática para sustentar o processo de aprendizagem.

Diante deste contexto, este capítulo trata da formação em engenharia e de sua adaptação ao controle a partir das instâncias clássicas (tais como as engenharias elétrica, mecânica, química, civil etc.), avaliando a adequação dessa realidade pedagógica construída historicamente. Somente então, parte, passando pela questão curricular, a primeira que se tende a colocar em qualquer análise pedagógica de ensino superior (Veiga Neto, 1996, p. 26), para a busca de um modelo pedagógico que considere e respeite os fundamentos do conhecimento em controle, possibilitando a definição e a implementação de estratégias de síntese curricular e de metodologias próprias para a formação em sua engenharia.

### 3.1 FORMAÇÃO EM ENGENHARIA

O ensino de engenharia, especialmente em modelos fragmentários como o departamental (ver Rocha & Longo, 1998), vem enfrentando dificuldades em sua dinâmica própria de ensino/aprendizagem com a menor motivação e o crescente distanciamento nos papéis desempenhados por professores e alunos, onde estes acabam assimilando minimamente a racionalidade docente, e a formação tende a um mero ritual de passagem da vida escolar para a profissional (ver Giannotti, 1986; Pereira, 1998). O despreparo dos egressos dos cursos de engenharia para atuação na sociedade tem sido denunciado em muitas oportunidades, podendo ocorrer que justificativas e eventuais soluções sejam procuradas nas filosofias que embalam os cursos ou nas áreas epistemológica e pedagógica (Bazzo, 1999, p. 95). Leitão (2001, p. 378) apresenta uma ampla síntese da questão e destaca três aspectos preocupantes no panorama atual do ensino de engenharia no Brasil:

*“primeiro, ele sofre de deficiências específicas decorrentes de suas estruturas curriculares inadequadas e do apego a um modelo de ensino/aprendizagem mecanicista, reprodutor e acrítico, incapaz de responder às necessidades dos alunos; em segundo lugar vive o problema da evasão, tanto a de caráter sistêmico, associada às questões de mercado, como a de natureza interna, decorrente da falta de motivação, ou das reprovações sucessivas em certas disciplinas; finalmente, enfrenta o fato de formar profissionais individualistas e tecnicistas, inaptos para pensar e repensar os seus saberes e fazeres, como agentes do bem-estar e do progresso das comunidades”.*

Os processos de ensino e de aprendizagem vem sendo influenciados pelo acúmulo de atividades concomitantes a pela facilidade de acesso aos dados.

A facilidade de acesso aos dados gera o mito de que o conhecimento está disponível e de forma imediata (aspecto intuitivo), quando na verdade depende de um longo processo de maturação assistida (aspecto intelectual). Esta confusão entre conhecimento e dado pode fazer os alunos acreditarem que podem suprir sua intelectualidade com referenciais externos, de onde surgem noções como a crescente dependência a sistemas computacionais que poderiam substituir atribuições do engenheiro (ver Lucky, 2002). Ocorre que a intelectualidade do engenheiro é a base dos processos de conhecer e interpretar, fundamentais na abstração da realidade (metafísica) e na racionalização do artificial (engenharia).

O acúmulo de atividades, por sua vez, tende a burocratizar e mesmo desprestigiar os processos de ensino e aprendizagem. Os alunos, envoltos em um ambiente carregado de atrativos (ver Martins Filho, 1997, p. 1914), são levados a “racionalizar” a formação, em aproximação ao ritual de passagem citado acima. Os professores, por sua vez,

também desempenham atividades de pesquisa e não raramente estão envolvidos em tarefas administrativas, de modo que as atividades didáticas, que também envolvem a preparação de materiais de apoio, têm reduzido, senão eliminado, o espaço para a melhoria na formação.

Diante deste quadro, diversas alternativas vêm sendo buscadas para o resgate nas relações de ensino e aprendizagem (ver Chisholm, 2003). A mais aparente atualmente é a aplicação de tecnologias da informação no fortalecimento do acesso dos alunos aos dados, como em simulações e cursos não presenciais. Tal alternativa é bem-vinda como extensão ao ensino, não oferecendo contudo garantias de uma boa formação e na profundidade necessária, pois o ensinar/aprender depende do diálogo ativo entre as estruturas cognitivas de professores e alunos. Não se pode, assim, priorizar a busca de uma maior motivação (através da pirotecnia computacional) ou comodidade (ensino não presencial) em detrimento da própria essência educacional presente na densidade da relação pedagógica entre professores e alunos, que irá proporcionar a amadurecimento intelectual de sustentação da formação.

Outra tendência, mais próxima do legítimo debate pedagógico, é a ênfase no ensino prático, para, segundo Bolzan et. al. (1997), tentar reverter a recente valorização do engenheiro-cientista em detrimento do engenheiro-projetista. Esta ênfase aplicada vem ressurgindo com o fortalecimento na formação tecnológica, em substituição a parcela de conteúdo metafísico e/ou científico. É um risco pautado na hipótese de que o fortalecimento em habilidades práticas promove uma dinâmica social positiva na formação intelectual. Entretanto, o fortalecimento do ensino prático sem uma contrapartida intelectual enfraquece esta formação, com uma construção intuitiva do conhecimento, como reconhece Antsaklis (1999, p. 57) ao afirmar que ferramentas de visualização e animação são particularmente úteis na motivação e no desenvolvimento da intuição. Assim, os alunos podem ter sua formação intelectual esvaziada em prol de habilidades profissionais elementares, mais fáceis de serem apreendidas, ou ao menos dissimuladas. Parcela do conhecimento acaba ficando para depois da formação, já no exercício profissional, através de treinamentos específicos. Entretanto, a formação oferecida pelo mercado de trabalho é essencialmente técnica, onde não poderá o profissional agregar muito mais do que conhecimentos técnicos intuitivos e habilidades sociais, além do apoio de sistemas computacionais de engenharia.

Pode-se defender que o engenheiro médio brasileiro não prescindir de mais do que alguma capacidade técnica e social para operar tecnologias prontas que são a regra em um contexto industrial em desenvolvimento. Tal concepção facilmente assume papel central no círculo vicioso que mantém periférica nossa tecnologia, ao impedir a consolidação mais abrangente de uma massa crítica em nossas engenharias. Ocorre que “a independência

tecnológica de um país requer a formação de indivíduos capazes de gerar tecnologia, não de apenas usá-la” (Bermudez, 1999, p. 67). O incremento dessa massa pensante é necessário inclusive no aprofundamento da relação entre entidades profissionais e de formação, para além dos estágios curriculares e projetos finais ligados a problemas de curto prazo. Também se pode defender que a formação intelectual é função da pós-graduação e não da graduação, em uma incongruência que, se aceita, implicaria na inexistência de graduandos em projetos de pesquisa e em eventos científicos, e na confusão entre a formação destes e a formação nos demais níveis profissionais (técnico e tecnológico).

Todas esta realidade, remete a uma autocrítica necessária por parte dos pensadores em ensino de engenharia, que pode ser verificada através da recente valorização em seus temas, em eventos e periódicos ligados à engenharia. Esta tese sintetiza esforços no sentido de proporcionar uma referência para tal autocrítica, embora voltada especificamente para a engenharia de controle; que apresenta, em função da natureza do seu conhecimento, características próprias em relação às engenharias clássicas. Tal distinção é realizada a seguir, antes da análise do ensino de engenharia de controle propriamente dito.

### **3.2 ENGENHARIA DE SISTEMAS**

As engenharias clássicas surgiram a partir da sistematização e racionalização de conhecimentos técnicos e, posteriormente, tecnológicos, em um longo processo histórico (ver Bazzo, 1996; Souza, 1999) que foi catalisado pela epistemologia cartesiana com a consolidação de modalidades apoiadas em fatias do conhecimento científico disponível. Aparecem, deste modo, as engenharias mecânica, elétrica, química, dentre outras decorrentes.

Com o desenvolvimento tecnológico, em maiores níveis de abstração, o conhecimento metafísico passou a ser agregado às engenharias clássicas, adaptando-se às suas visões particulares da realidade. Surgiram, deste modo, disciplinas isoladas na graduação e especialidades de pós-graduação, que condicionaram o conhecimento metafísico a um contexto prévio específico, sem uma perspectiva própria.

A partir da teoria da relatividade e da física quântica verificou-se um aperfeiçoamento epistemológico, com o reconhecimento da relevância da complexidade e da incerteza na compreensão da realidade. Neste processo, emerge a noção de sistema, com um conjunto de teorias denominadas por Bunge (1983d, p. 1) de *Sistêmicas* (autômatos, sistemas lineares, controle, redes etc.), e que estão voltadas para as características funcionais da

realidade, enfraquecendo as grandes barreiras artificiais entre as áreas particulares. Nesta mesma direção, e também em função do próprio desenvolvimento tecnológico, abriu-se o espaço para o surgimento de engenharias não baseadas na fragmentação da realidade (clássicas), mas na percepção sistêmica desta. Tais engenharias, aqui denominadas de sistêmicas, representam uma alternativa ao diálogo com a realidade praticado pelas engenharias clássicas<sup>3</sup>. Assim, ao contrário de uma realidade limitada a priori, elas buscariam um diálogo que inclua diferentes aspectos da realidade, com eventuais limitações definidas a posteriori, no momento da interação com ela.

Nesta direção, uma engenharia sistêmica não está conceitualmente baseada no conhecimento científico, mas em suas abstrações, que constituem o conhecimento metafísico. O modelo epistemológico do capítulo anterior demonstra, portanto, que a engenharia de controle<sup>4</sup> surge como caso típico de engenharia sistêmica, sendo o conhecimento envolvido “independente de qualquer tecnologia particular e voltado à compreensão do comportamento dinâmico dos sistemas” (Bernstein, 2003, pp. 1, 17). A própria comunidade ligada ao controle tem sido a principal fonte e ambiente de formação para pessoas que defendem a perspectiva sistêmica e que desejam desenvolver o importante conjunto de conhecimento e habilidades que ela envolve (Murray et. al., 2003, p. 4). Assim sendo, antes de considerar propriamente a realidade pedagógica particular da engenharia de controle, cabe realizar alguns comentários relacionados à sua natureza sistêmica, que está diretamente vinculada à natureza metafísica do seu conhecimento intelectual de base.

Embora idealmente pautadas pela visão sistêmica da realidade, as engenharias de sistemas<sup>5</sup> surgiram a partir de uma epistemologia cartesiana e tiveram como referencial pedagógico os cursos clássicos de engenharia que já apresentavam disciplinas metafísicas isoladas em seu currículo. Neste contexto, os núcleos processuais originais não foram substituídos por núcleos metafísicos, sendo o novo conhecimento introduzido na forma de extensões das disciplinas isoladas anteriormente existentes. As análises de Bissell (1999b), Dorato (1999) e Rodrigues (2000) sobre o surgimento da engenharia de controle no contexto

---

<sup>3</sup> Buckeridge (2000) defende uma abordagem sistêmica para o tratamento de problemas e a obtenção de soluções em engenharia, enquanto Leão (2001) apresenta caso que ilustra a redução quantitativa e qualitativa da procura por cursos clássicos de engenharia (Civil, Mecânica, Elétrica, Minas, Metalurgia e Química) nos anos 90.

<sup>4</sup> Também apresentam uma nítida ênfase sistêmica, as áreas administrativas, através do controle (tomada de decisão) de recursos, e as áreas da informática, através do controle da informação.

<sup>5</sup> Aqui tratadas em tese, não devendo confundi-las com as tradicionais engenharias de produção e sistemas, que envolvem a especialização a priori nas áreas elétrica, mecânica e civil.

da Grã-Bretanha, Estados Unidos e Brasil, respectivamente, permitem observar o forte vínculo existente com engenharias clássicas, em especial a engenharia elétrica, conforme explicitado em Pena et. al. (2001). Kheir et. al. (1996, pp. 164-166), por sua vez, ao apresentar o currículo de diversos cursos que trata como de engenharia de controle, demonstra como a comunidade internacional não distingue esta engenharia *stricto sensu* da engenharia clássica com especialização em controle. No Brasil, tem sido comum a confusão entre engenharia de controle e mecatrônica (combinação das engenharias mecânica e elétrica com a informática e os sistemas de controle – Wright, 2002, p. 272), com a segunda limitando-se aos sistemas mecatrônicos. Além disso o termo mecatrônico é muitas vezes utilizado como simples estratégia de marketing, por representar uma denominação de maior apelo, conforme descreve Polonskii (2001), que também confunde controle e automação com mecatrônica (p. 7).

O desenvolvimento das engenharias sistêmicas a partir das clássicas demonstra a tendência de abstração do conhecimento tecnológico. Infelizmente, contudo, não se tem conseguido aprimorar uma epistemologia e uma pedagogia próprias, de modo que os novos conhecimentos são adaptados a eixos pré-definidos de *ciência-tecnologia*, que caracterizam as engenharias clássicas. Aplica-se, deste modo, um paradigma pedagógico *ciência→tecnologia & metafísica* quando deveria ser aplicado um paradigma pedagógico *metafísica→ciências & tecnologias particulares*.

No paradigma histórico, a formação sistêmica está lastreada em processos científicos/tecnológicos particulares, de onde se espera ocorrer a emergência de noções gerais, de forma análoga ao método indutivo. Infelizmente, o recurso temporal de uma engenharia clássica é somente suficiente para o aprendizado sobre a respectiva classe de processos e seu conhecimento científico, não restando espaço para o aprofundamento mais abrangente que seria necessário na engenharia sistêmica. Além disso, em sustentação às bases científicas das engenharias clássicas estão conhecimentos matemáticos geralmente simplificados e moldados para tais bases. Estes conhecimentos padronizados “com resultados igualmente padronizados” (Bissel et. al., 2000) são de certo modo suficientes para as engenharias clássicas, mas não para o alcance necessário nas de sistemas, conforme explicitado no modelo epistemológico do capítulo anterior. Os conhecimentos lógicos, por sua vez, costumam estar implícitos nas incursões à informática, sem a busca de um maior formalismo, de modo que tendem a ser tecnicamente apreendidos, pouco auxiliando na integração da formação metafísica.

A engenharia de controle, por exemplo, não deve ser uma extensão de cursos clássicos de engenharia e não deve ser confundida com uma mera agregação de diferentes cursos de engenharia. De fato, os alunos devem ser ensinados a pensar os sistemas de controle

de forma unificada e em seu senso mais amplo possível (ver Antsaklis et. al., 1999, p. 52; Bissell, 1999b, p. 48; Dorato, 1999, p. 38), o que depende da libertação das amarras históricas das engenharias clássicas (Murray et. al., 2003, p. 14), que tendem a tratar parcialmente o controle, com base em seus pólos ciência-tecnologia (Kheir et. al., 1996, p. 148). Pena et. al. (2000, p. 402) complementa, indicando que nenhuma engenharia clássica é capaz de dar o suporte necessário a alguém que queira operar em controle e automação.

A ênfase nos aspectos particulares da realidade, fortalece um modo de pensar baseado em visões específicas dessa realidade, limitando-se o desenvolvimento de visões orgânicas / sistêmicas. Essa postura coíbe a melhor formação do engenheiro de sistemas, que pode ter uma formação distorcida, através da ênfase em classes particulares de processos, transformando-se, por exemplo, em um esboço de gerente de tecnologias (engenheiro de produção) ou de engenheiro industrial. Esta exposição a diferentes classes de tecnologia pode até conferir alguma vantagem em relação ao engenheiro clássico, que é exposto quase que exclusivamente a sua classe específica de tecnologia, mas de forma contestável, pois este pode muito bem ter cursado extensões do conhecimento metafísico.

Em outras palavras, o contexto historicamente construído para os temas sistêmicos nas engenharias, baseado em uma pedagogia “*bottom-up*”, é limitado para a formação em áreas que se pressupõe gerais. Assim, a base pedagógica para qualquer engenharia de sistemas deve consistir em uma perspectiva sistêmica de formação, marcada por uma realidade funcional e abstraída de seus fenômenos particulares.

Nesta direção, Bolzan et. al. (1997) sugere uma forte ênfase em sociologia. Entretanto, acaba excluindo o engenheiro de sistemas de sua análise pedagógica, que se limita entre o engenheiro-cientista e o engenheiro-projetista, ambos segundo a concepção clássica de engenharia, o que reflete o foco atual da pesquisa em ensino de engenharia. O foco da pesquisa em ensino de engenharia de sistemas, por sua vez, deve centrar-se na principal responsabilidade do engenheiro de sistemas, que é a capacidade de modelar e analisar quaisquer tipos de sistemas, tratados na engenharia de controle como sistemas de controle.

Dessa responsabilidade emerge a dualidade entre teoria e prática, que é circunstancial nas engenharias clássicas, mas é essencial nas engenharias de sistemas, pois a racionalidade envolvida está efetivamente dissociada de qualquer realidade particular de aplicação, devendo a dualidade “ser considerada como elemento-chave em qualquer estratégia pedagógica” (Kheir et. al., 1996, p. 150), como decorre do modelo epistemológico do capítulo anterior, com duas naturezas: uma teórica ou metafísica, e outra experimental ou tecnológica.

A tabela 2 sintetiza características epistemológicas e pedagógicas próprias da engenharia de sistemas que foram trazidas nesta seção, e que não necessariamente apresentam este mesmo caráter essencial nas engenharias clássicas, conforme distinções apresentadas. Reforça-se assim a relevância destes elementos como referenciais para o projeto pedagógico próprio de engenharias como a de controle, ou seja, as distinções epistemológicas e pedagógicas entre engenharias clássicas, paradigma da formação tecnológica superior, e as de sistemas, ainda em consolidação, ressaltam a necessidade dos modelos desta tese, servindo de parâmetros fundamentais para o respectivo modelo pedagógico.

<i>Conhecimento</i>	Sistêmico
<i>Formação</i>	Generalista
<i>Ensino Prévio</i>	Ruptura
<i>Base Racional</i>	Metafísica
<i>Demarcação da Realidade</i>	Posterior à Teoria
<i>Teoria x Prática</i>	Essencial
<i>Tecnologia</i>	Integração
<i>Metafísica</i>	Racional
<i>Aplicação da Matemática</i>	Abstrata
<i>Aplicação da Ciência</i>	Instrumental (ciências em geral)

Tabela 2 – Características Essenciais da Engenharia de Sistemas

Nas próximas duas seções é diretamente abordada a realidade a ser modelada, a engenharia de controle no Brasil. Na seguinte é tratada a questão curricular que, dentre outras coisas, permite observar claramente a evolução histórica aqui descrita. O debate é então aprofundado, com a introdução de questões normalmente relegadas pelo reducionismo do debate pedagógico tradicional, voltado para o problema curricular *stricto sensu*.

### 3.3 QUESTÃO CURRICULAR

O objetivo desta seção é compreender a realidade curricular da engenharia de controle no Brasil, ficando uma perspectiva propositiva para o quinto capítulo, já segundo os modelos desta tese. Nesta direção, após considerações iniciais sobre a questão curricular, é abordada a posição acadêmica sobre os objetos e metodologias que constituem um currículo de formação, seguida por um estudo sobre algumas estruturas curriculares de referência.

O tratamento da questão curricular para a engenharia de controle no Brasil foi restringido pela política de currículos-mínimos, de onde surgiram currículos marcados por núcleos próprios de engenharias clássicas, especialmente das elétrica e mecânica. Atualmente, esta dificuldade pode ser superada com a introdução das diretrizes curriculares (Brasil, 2002), a partir da nova LDB (Brasil, 1996). Neste aspecto, é interessante ressaltar que Brasil (2002):

- reconhece como conhecimentos legítimos da formação em engenharia os conhecimentos científicos e tecnológicos, sendo os demais instrumentais, em afronta direta à natureza epistemológica dos conhecimentos em controle;
- solicita a definição de um projeto pedagógico para o curso que demonstre o atendimento das diretrizes curriculares;
- solicita a permanente avaliação e o acompanhamento das concepções curriculares, para os ajustes que se fizerem necessários.

Os dois últimos pontos são interdependentes e podem estar sustentados, no caso da engenharia de controle, nos modelos propostos nesta tese. A partir desses modelos também se podem definir diretrizes particulares para a engenharia de controle, como já vem ocorrendo para as engenharias Agrícola, da Computação, Florestal e de Pesca. Enquanto tais diretrizes não forem desenvolvidas, Brasil (1994) continua a referenciar os currículos das engenharias de controle naquilo em que não contraria Brasil (2002).

Apesar desse processo de evolução legal da questão curricular, há ainda uma tendência ao reducionismo em seu tratamento pedagógico, quase que restrito à definição de uma boa grade curricular. Este tratamento simplista da realidade pedagógica leva à adoção tácita de conceitos não mais reconhecidos (transmissão de conhecimentos, conhecimentos cumulativos, aluno como “tabula rasa” etc.), onde o sucesso das disciplinas isoladas garantiria o sucesso da formação, sendo eventuais ineficiências imputadas aos alunos. Acontece que o currículo envolve não apenas uma grade, mas todo um currículo complementar que engloba os estágios, a extensão, a pesquisa, e as múltiplas oportunidades oferecidas pela instituição e seu contexto circundante. E todos estes elementos não podem ser tratados isoladamente, mas como componentes de um sistema de ensino, cuja dinâmica resulta da síntese de seus efeitos nas cognições individuais dos alunos (onde “residem” suas concepções prévias).

Assim, a prática pedagógica, sem estudos pedagógicos próprios que permitam uma compreensão epistemológica e pedagógica, tem conduzido a modificações curriculares que buscam a correção heurística de distorções de aprendizagem localmente detectadas, ou mesmo a mera adaptação à legislação educacional. Um exemplo deste processo é a recente proposta de adaptação curricular do curso de engenharia de controle da UFSC (Brasil, 2003c).

Em contrapartida à ênfase na grade curricular, a flexibilização curricular abre espaço para o currículo por competências, com uma aprendizagem baseada em habilidades ligadas a um dado sistema de experiências. Esta tendência encontra espaço relevante no ensino técnico, mas não no de engenharia que, mais do que propiciar um dado sistema de habilidades, deve conduzir ao real domínio intelectual do sistema epistemológico de interesse.

O maior problema a ser enfrentado nessa questão não é o metodológico, mas a carência de modelos que apoiem o projeto de um sistema curricular pedagogicamente eficiente. A falta deste projeto estratégico, por sua vez, leva ao reducionismo supracitado, com a mera inclusão de novos conhecimentos; contribuindo para currículos sobrecarregados (Bermudez, 1999, p. 68), com áreas relevantes tornando-se opcionais, em uma especialização interna indevida e invisível à sociedade. Os educadores “continuam a apostar nas remodelações clássicas das grades curriculares sem sequer levantar preocupações com mudanças das posturas filosóficas de enfoques educacionais” (Bazzo, 1999, p.93).

Este efeito é especialmente prejudicial à engenharia de controle, a partir de sua evolução histórica de engenharias clássicas, onde o conhecimento em controle passou a estender conhecimentos científicos e tecnológicos; em continuidade ao que já ocorria em engenharias clássicas com especialização em controle. Como exemplos deste processo, estão o controle digital, a simulação de sistemas reais e a aplicação de técnicas recentes de controle, que tendem a ser anexados de forma independente, e até optativa, à formação básica em controle automático (Heck, 1999, p. 36). O controle adaptativo, por sua vez, embora relevante na compreensão da lógica de controle e do conhecimento sobre o sistema a controlar, é tradicional disciplina optativa dos cursos em controle (exemplo em Pena et. al., 2001, p. 403).

O inchaço do currículo é reforçado pela noção multidisciplinar da engenharia de controle, abordada no quarto capítulo, que induz à expansão curricular em mais direções que nas engenharias clássicas, pressionando pela inclusão de novos pólos ciência-tecnologia. O mercado pressiona os cursos pela inclusão de múltiplos casos de controle aplicado no curso, embora reconheça que a carência de experiência prática é minimizada pela facilidade de adaptação do engenheiro de controle (Kheir et. al., 1996, p. 153), além do que, “o currículo simplesmente não pode cobrir todos os variados campos de aplicação do controle” (idem).

Em síntese: a engenharia de controle opera sobre uma estrutura curricular historicamente construída a partir das engenharias clássicas, sem o devido espaço pedagógico para a introdução dos conhecimentos em controle, controle experimental e aplicado. Há uma necessidade evidente de reformulação curricular que se origine na compreensão das realidades coletiva e individual da construção do conhecimento em controle. De fato, muitos esforços

têm sido empregados na busca de estruturas curriculares propícias para a formação em engenharia de controle. Entretanto diversos são os condicionantes que limitam a realização desta tarefa, e que são amplificados em um contexto onde inexistem modelos estratégicos.

O principal deles é a limitação dos recursos disponíveis, surgindo a tendência para o reuso de recursos das engenharias clássicas. Silveira et. al. (1998, p. 622), por exemplo, indica que: “Apenas cinco disciplinas novas foram criadas (...). Todas as outras já eram existentes, ministradas pelos diversos departamentos (...). Algumas tiveram seu escopo adaptado à sua utilização também pela nova habilitação, por acordo entre os departamentos” (grifo do autor). De qualquer modo, uma adaptação mínima é necessária, com a adoção de um modelo de formação que respeite as especificidades da engenharia de controle. Esse processo de adaptação deve ser preferencialmente apoiado por um departamento diretamente ligado ao conhecimento metafísico (de sistemas, por exemplo), pois departamentos ligados a pólos ciência-tecnologia particulares provavelmente estarão sustentando cursos clássicos de engenharia, de modo que se poderiam aprofundar ainda mais as distorções indicadas na seção anterior. A falha na adaptação dos recursos pedagógicos para a engenharia de controle tende a promover um currículo inacabado que apenas agrega elementos provenientes de diferentes engenharias clássicas sem a emergência de uma unidade epistemológica própria em controle.

Em contraposição à necessária adaptação, que de certo modo envolve uma ruptura epistemológica em relação às engenharias clássicas, também surgem inércias culturais e administrativas que inibem especialmente a adaptação de disciplinas oferecidas por departamentos de serviço às engenharias, os quais podem participar de forma burocrática do colegiado do curso e padronizar uma mesma formação para cursos diferenciados, onde a engenharia de controle receberá uma formação básica clássica. A adaptação dessas disciplinas envolve ora o diálogo interdepartamental, ora o diálogo direto com os respectivos professores, ou ainda a criação de disciplinas próprias para o curso. Este último caso se contrapõe, em tese, à economia de recursos, embora os estágios de docência da pós-graduação representem uma alternativa relevante para cursos integrados a centros de excelência de pesquisa em controle. A eficiência no diálogo entre os agentes de ensino, por sua vez, depende da intermediação de um modelo pedagógico que determine objetivos pedagógicos e abstraia o debate pedagógico de ações heurísticas ou individualistas, possibilitando que agentes de ensino externos ao curso tenham, assim como os internos, a compreensão necessária para a própria adaptação ao curso, efetuando, por exemplo, o desenvolvimento de casos e exemplos específicos em controle.

Enfim, a realidade da questão curricular é mais complicada do que transparece o reducionismo com que costuma ser tratada, envolvendo desde aspectos epistemológicos e

metodológicos até aspectos administrativos, culturais e mesmo sociais, em um contexto inercial que depende de projetos de médio e longo prazo para uma efetivação adequada. A seguir é abordada a posição acadêmica sobre os aspectos epistemológicos e metodológicos, que correspondem respectivamente aos objetos e métodos de ensino (Anexo A.8), embora compondo um sistema integrado, o curricular. São então apresentadas algumas estruturas curriculares da engenharia de controle no Brasil, em caráter ilustrativo.

### 3.3.1 Aspectos Epistemológicos

Os aspectos epistemológicos da questão curricular envolvem a definição dos objetos de formação, isto é, dos conhecimentos racionais e intuitivos a serem em algum grau apreendidos pelos futuros engenheiros de controle, inclusive conhecimentos complementares ou opcionais. Nesta direção, envolve a questão “*O que ensinar?*”, que tradicionalmente centraliza o debate pedagógico relacionado ao currículo. Se por um lado, a realidade curricular da engenharia de controle envolve uma realidade histórica; por outro lado, vem atraindo esforços acadêmicos de diversos estudiosos do ensino de controle, embora, conforme colocado no capítulo introdutório, com uma ênfase em opiniões e experiências individuais ao invés de modelos racionais de referência. Diante deste contexto, são aqui apresentadas proposições indicadas por autores do ensino de controle em relação aos objetos de ensino relacionados à engenharia, e que apontam o “senso-comum” da academia sobre o tema.

Abordando globalmente os objetos de formação, Vallim et. al. (2000, p. 147) indica que “a ênfase no ensino de técnicas no lugar de conceitos resulta em um rápido esquecimento por parte do aluno”, de modo que a formação “deve estar voltada ao desenvolvimento de sólidas bases conceituais e habilidades úteis à vida profissional”. Entretanto, a supervalorização da metafísica aplicada da informática e das técnicas clássicas de projeto de controle reforça a preponderância das técnicas sobre os conceitos. A formação torna-se superficial e de curto prazo (Moraes, 1998), devendo-se ao contrário balizar a definição epistemológica do currículo priorizando-se as bases conceituais, apresentadas no capítulo anterior, que sustentarão a capacidade de raciocínio técnico em controle e a habilidade de aplicá-lo em sistemas específicos.

Por outro lado, a organicidade necessária a uma sólida formação cognitiva em controle é prejudicada pela tradição pedagógica fragmentária, com a ênfase introdutória no paradigma clássico do conhecimento em controle, em repetição à formação em controle nas engenharias clássicas. Bernstein (1997), por exemplo, defende a introdução a partir de um

roteiro pedagógico para o ensino de controle clássico, não indicando a necessidade de uma abordagem prévia de controle em seus conceitos elementares. Sugere, pois, que o clássico seja adotado como modelo epistemológico, e que extensões posteriores irão introduzir os controles moderno, ótimo, multivariável, robusto, digital, não linear e adaptativo (idem, p. 100). Esta condição, onde o clássico é a porta do conhecimento em controle, estimula sua percepção como estando adstrito a tal paradigma, reforçando-o sem necessariamente melhorar a formação geral em controle, que será assim condicionada ao clássico, em detrimento de todos os demais conhecimentos relacionados à área e da própria ontologia do controle.

Em relação a esta realidade, Ljung apud Blondel (1995) sugere que se tenha uma visão mais ampla sobre o conhecimento em controle. Entretanto, acaba-se mantendo um enfoque que permanece intimamente ligado ao modelo atual. Kheir et. al. (1996) representa o caso típico, onde, a partir de um amplo estudo epistemológico sobre aspectos curriculares, promove uma análise direcionada para a definição de um eixo enxuto de ensino de controle que atenda todas as engenharias, inclusive a sua própria. Inicialmente, define os principais conceitos que, em sua perspectiva, deveriam compor a base de qualquer currículo em engenharia de controle (pp. 148-149): *sistemas dinâmicos*, especialmente sob a perspectiva do controle clássico, através de modelos lineares e invariantes; *estabilidade*, incluindo as técnicas clássicas de estabilidade, e a estabilidade ligada aos controles ótimo, robusto e adaptativo; *realimentação*, com seus custos e benefícios; e *compensação dinâmica*, com a inclusão de dinâmicas adicionais de controle. Por outro lado, indica que os campos mais importantes para a aplicação na indústria serão (p. 153): o controle inteligente; a identificação e estimação de sistemas; o controle digital em tempo real, a aprendizagem (do sistema de controle sobre o sistema controlado) e o projeto auxiliado por computador. Pode-se observar a inconsistência entre o que a indústria requer e o que é pedagogicamente defendido, através da ênfase no estudo dos conceitos fundamentais segundo uma perspectiva clássica em controle. Kheir et. al. (idem) apresenta ainda um compilado de livros-texto ligados a diversas áreas de controle (pp. 161-164), e que servem de relevante referencial epistemológico. Por último, defende a inclusão de uma melhor formação em lógica, que reconhece ser indevidamente menosprezada (p. 157), apesar de ser diretamente relevante, por exemplo, no controle da manufatura.

Do mesmo modo, também considerando o conhecimento em controle como sendo acessório a cursos de engenharia clássica, Dorato (1999) apresenta alguns pontos que considera consensuais na comunidade norte-americana em relação à formação: o controle deveria ser ensinado em um contexto mais amplo, sendo que tópicos como sistemas híbridos, otimização com múltiplos objetivos, simulação, e análise de desempenho, deveriam ser

ensinados *adicionalmente* aos tópicos clássicos (grifei); problemas reais de projeto deveriam ser incluídos; dever-se-iam abordar resultados teóricos mais recentes, suplantando alguns resultados clássicos que ainda dominam os cursos e livros-texto; o controle digital deveria ser enfatizado; e mais pré-requisitos matemáticos deveriam ser exigidos. A falta de um modelo adequado de análise faz com que esses requisitos abrangentes sejam convertidos na busca de estruturas curriculares baseadas em agregações, onde a concorrência curricular promova o reducionismo e a desagregação do currículo.

Bissell (1999b, p. 48) questiona a adequação de um currículo sustentado pelo controle clássico com extensões em outras formas de controle, discutindo a necessidade da adoção de uma abordagem pedagógica radicalmente diferente. Defende, pois, um currículo que trabalhe estes tópicos, nesta ordem: a discussão do que seja engenharia de controle, em seus diversos aspectos; um estudo geral de sistemas, tanto qualitativo quanto quantitativo, baseado em uma matemática elementar; estudo de controladores; estudo de sistemas distribuídos e de mecanismos de controle; modelagem linear de sistemas; e um projeto de integração de conhecimentos. Embora buscando alternativas ao ensino de controle, com uma ênfase inicial em conceitos fundamentais e uma abordagem ampla de controle, apesar do seu paradigma atual; ao abordar a modelagem, essencial na introdução racional do controle, o autor acaba limitando-se aos modelos lineares.

Isso ocorre porque embora represente uma questão epistemológica essencial, a modelagem de sistemas, primeira etapa epistemológica no diálogo entre controle e realidade, costuma ser tratada de forma acessória, com a tendência para a utilização de modelos padronizados, prejudicando-se o desenvolvimento da capacidade de formulação de problemas do engenheiro de controle, questionada em Bissell (1999b, p. 47), o que impõe limitações ao exercício racional do controle. Mais recentemente, este esvaziamento na modelagem tem feito com que os modelos baseados em ciências particulares (analíticos) percam algum espaço para os modelos empíricos, mais flexíveis, mas que muitas vezes requerem experimentos de identificação de difícil senão impossível implementação (Balchen, 1997, p. 107). O que tem acontecido de fato é que os alunos costumam apresentar uma visão distorcida de modelagem, baseada em modelos analíticos estáticos, suficientes para as engenharias clássicas em geral, mas limitados ao controle, que requer a aplicação de modelos dinâmicos. Assim, tendem aos modelos dinâmicos empíricos, que são limitados no tratamento dos estados internos dos sistemas sob controle e de difícil definição numérica, realizada através de experimentos nem sempre factíveis (idem). Por outro lado, segundo Towill apud Bissell (1999b, p. 47), uma boa formação em engenharia de controle não requer apenas a familiaridade com o comportamento

dinâmico de sistemas, mas resulta também de uma abordagem lógica de sua modelagem, com uma racionalidade que prevaleça sobre subgrupos de fenômenos científicos. Nesta direção, Baras apud Antsaklis (2000, p. 52) defende que a educação em controle deveria enfatizar mais a modelagem de sistemas e não somente o seu controle, como infelizmente acaba decorrendo do realismo metafísico das engenharias, com modelos que costumam ser apresentados prontos para que os alunos projetem algum tipo de controlador sem que tenham realizado qualquer modelagem efetiva (Bissell, 1999b, p. 46). Os alunos são catequizados em alguns casos onde a modelagem tende a ser tecnicamente apreendida, sem um diálogo efetivo entre a razão do aluno e a complexa realidade a modelar, normalmente filtrada em exemplares das engenharias clássicas ou por técnicas empíricas limitadas. O posterior controle tende a seguir esta mesma linha cognitiva, com a busca de soluções em controle igualmente técnicas.

Além da modelagem e do próprio controle, Bruciapaglia et. al. (1990, p. 207) cita que a formação básica do engenheiro de controle deve considerar conhecimentos gerais em eletricidade, mecânica e informática, relacionados ao suporte material do controle; os quais não devem, assim, ser confundidos com o conjunto de conhecimentos das respectivas engenharias elétrica, mecânica e de computação, nem ofuscarem a formação metafísica.

Em relação às expectativas da comunidade acadêmica em controle, Blondel et. al. (1995) apresenta pesquisa aplicada a 27 especialistas questionando quais os problemas em que estiveram trabalhando nos últimos anos, quais são os maiores problemas ainda não resolvidos e quais são os maiores desafios para a comunidade de engenharia de controle nos próximos anos. Uma das conclusões do trabalho é a urgência do controle em expandir-se para além do tradicional e do clássico, o que depende da ruptura do histórico para a adoção do epistemológico. Também são ressaltadas as problemáticas da fragmentação do conhecimento em controle, da dicotomia entre teoria e prática, e do crescente potencial computacional, temas destacados nesta tese. Pedagogicamente, é defendida a aplicação de esforços na unificação e simplificação de conceitos e de ferramentas, o que depende de modelos próprios. Nos especialistas entrevistados são identificados dois pontos de vista divergentes, embora com conclusões semelhantes: aqueles que acreditam que a teoria de controle e sistemas atingiu sua maturidade, e aqueles que acreditam que ela atingiu somente sua infância e que maiores desafios teóricos e metodológicos ainda surgirão. Esta tese demonstra que efetivamente diversos desafios teóricos, metodológicos e mesmo epistemológicos persistem, corroborando a noção de que definitivamente a área de controle ainda não atingiu sua maturidade, estando ainda intimamente ligada às áreas particulares onde se originou, sendo necessário o desenvolvimento de uma massa pensante em controle.

Do ponto de vista de complementação do currículo, em uma perspectiva profissional, Fogler (1997) apresenta resultados relevantes à engenharia de controle em pesquisa aplicada a antigos alunos da engenharia química. Os principais aspectos, na busca de uma formação mais ampla, foram: a habilidade na definição crítica e *sistêmica* dos problemas (grifei); a compreensão dos princípios fundamentais; a comunicação oral e escrita; a capacidade de criação; a capacidade de trabalho em equipe e o aprendizado continuado.

Analisando-se as contribuições desses autores, percebe-se a forte influência das extensões de controle em cursos clássicos de engenharia, com a formação de graduação sendo também algumas vezes tratada como agente motivador para uma posterior especialização de pós-graduação em controle. Vejam, por exemplo, as citações a seguir:

- Antsaklis, 1999: “A maioria dos currículos de engenharia fornece somente uma disciplina que expõe os alunos de graduação ao controle. Em geral, é uma disciplina optativa com foco em métodos quantitativos de análise e projeto de sistemas SISO lineares e invariantes no tempo” (pp. 54-55);
- Dorato, 1999: “Nos Estados Unidos, como em muitos outros países, o controle na graduação é basicamente uma área de ‘serviço’ para cursos típicos de engenharia (elétrica, mecânica, química etc.). A maioria destes programas requer ao menos uma disciplina em controle. Esta disciplina geralmente cobre um número de tópicos de controle ‘clássico.’” (p. 38);
- Bissel, 1999: “Uma pesquisa em alguns programas do Reino Unido revela o seguinte padrão geral de módulos de engenharia de controle: a) um ‘primeiro’ curso ou cursos em controle e tópicos relacionados, tipicamente incluindo: teoria de sistemas lineares; projeto clássico em malha única; muitas vezes também com uma introdução a modelos e projetos discretos em malha única; b) uma ou mais opções em controle especializado (...)” (p. 44);
- Kheir et. al. (1996): “Um compromisso adicional é assumir que os alunos entrem no curso de controle já tendo tido sistemas lineares mais simples, incluindo as transformadas de Laplace e Fourier. (...) Estudantes em um primeiro curso de controle podem estar graduando em engenharia elétrica, mecânica, aeronáutica ou química” (pp. 150-151);
- Bernstein (1997): “Este guia é voltado para ajudar tanto na graduação quanto na pós-graduação. A graduação pode usar este guia no começo de um curso em controle (...). Agora que você completou o curso básico de controle clássico, está pronto para entrar no mundo maravilhoso do controle moderno. O controle linear (...) pode agora ser expandido (...)” (pp. 96 e 100);

- Johansson et. al. (1998): “O controle automático cobre uma ampla variedade de tópicos da matemática aos processos e à informática. (...) Neste artigo nós mostramos o uso de ferramentas em tarefas típicas de modelagem, análise, e projeto em uma primeira disciplina em controle automático.” (pp. 33);

Não há uma preocupação efetiva com a caracterização particular da engenharia de controle, mesmo porque sua presença é ainda restrita (Pena et. al., 2000, pp. 399-401). Os autores procuram definir, assim, elementos que sejam aplicáveis tanto às engenharias clássicas com extensão em controle quanto à engenharia de controle; realidades diferenciadas, como já demonstrado. Tal limitação epistemológica dos autores reforça a restrição ao controle clássico, já difundido nas demais engenharias, prejudicando um enfoque próprio; esquecendo-se completamente, por exemplo, do controle de sistemas a eventos discretos. E enquanto especialistas em ensino de controle, tais autores certamente são referenciados nas instâncias locais, engessando suas iniciativas e impelindo-as à repetição da condição histórica, com a tendência para cursos de engenharia de controle que estendam as engenharias clássicas e estejam direcionados à garantia de uma boa formação em controle clássico, prejudicando o restante das realidades epistemológica e profissional da área. Adicionalmente, a confusão entre a graduação e a pós-graduação, ambiente original do controle, faz com que eventuais carências epistemológicas de formação em controle sejam pretensamente atendidas na pós-graduação, violando-se a necessidade da formação integral em controle já na *sua* graduação.

Assim, apesar dos autores reconhecerem o crescente espaço do controle diante da crescente abstração tecnológica, e apesar de uma disposição a um controle mais coerente com a amplitude epistemológica de seu conceito; percebe-se que os aspectos epistemológicos da formação em engenharia são abordados em uma perspectiva bem mais modesta do que a buscada nesta tese. Os autores não procuram aprofundar o diálogo entre as peculiaridades do conhecimento em controle e a respectiva realidade pedagógica na engenharia. Isto decorre de sua dinâmica acadêmica, onde se busca a compreensão do conhecimento a partir da realidade pedagógica. Esta tese, ao contrário, busca a compreensão da realidade pedagógica com base no conhecimento, partindo da epistemologia para a definição de uma pedagogia própria.

Em complementação aos aspectos epistemológicos da questão curricular (o que ensinar?) levantados por autores de ensino de controle, são a seguir apresentados alguns aspectos metodológicos relacionados.

### 3.3.2 Aspectos Metodológicos

Aqui serão realizadas algumas indicações de como a comunidade acadêmica em controle aborda aspectos metodológicos da formação em controle, ou seja, relacionadas ao como ensinar. Esta questão, que integra a questão curricular, é geralmente menosprezada com o esvaziamento metodológico (ver Anexo A.8 – *Método Pedagógico*) decorrente da falta de um projeto pedagógico, que seria sustentado por modelos de referência. Assim, apesar desse esvaziamento, são aqui apresentados alguns elementos que indicam como a comunidade tem abordado a questão metodológica da formação em engenharia de controle.

Kheir et. al. (1996, p. 151) conclui que o ensino de controle deve, independente dos objetivos específicos, ter como estratégias globais: o fornecimento de bases para o aprendizado continuado, especialmente para o tratamento de novos problemas de controle, em rápido surgimento; e o estabelecimento e a manutenção de elevados padrões de excelência na experiência do aprendizado dos fundamentos/conceitos do controle. De forma difusa, a autor defende elementos que favoreçam a formação sólida em controle, com engenheiros de controle efetivamente generalistas e não apenas especialistas em alguma área particular de aplicação, em concorrência com engenheiros clássicos com especialização em controle.

Bernstein (1999) afirma que o ensino de graduação em controle deve ser tanto conceitual quanto experimental, em acordo com a natureza do conhecimento em controle, e complementa indicando diversas perspectivas que deveriam ser agregadas à formação para balancear teoria e aplicação. Tais perspectivas não são propriamente estratégias de formação, aproximando-se em seu detalhamento da própria didática inerente ao professor e às suas técnicas particulares de ensino. Por outro lado, elas denotam algumas estratégias implícitas defendidas pelo autor: identificação precisa dos componentes do controle (topologias, lógicas de ajuste e controle, perturbações, medição, atuação, sistema de regras etc.); permanente identificação e valorização dos correspondentes tecnológicos dos modelos e outras abstrações do controle (grandezas e relações físicas, controladores, medidores, atuadores etc.); valorização do controle experimental (percepção do comportamento real versus modelado, identificação, prototipação, a robustez dos projetos de controle); e abordagem de questões “culturais” do controle (a importância da realimentação fora do controle automático e o resgate da história). Estas estratégias demonstram a preocupação do autor na redução de duas dificuldades recorrentes: as restrições epistemológicas de cursos historicamente lapidados que dificultam a aprendizagem; e a dificuldade na transposição do controle metafísico para o aplicado em função da não valorização da apreensão da realidade e do controle experimental,

que consolidam o diálogo racional entre controle e realidade. Entretanto, como aborda Kheir et. al. (1996), faltam modelos que levem ao entendimento racional do problema de formação, resultando-se em opiniões individuais baseadas mais na experiência pedagógica do que no estudo aprofundado das estruturas de formação, consolidadas no Brasil.

Nesta direção, a engenharia de controle ainda está bastante ligada ao controle clássico, sem uma preocupação com estratégias mais gerais de formação. Antsaklis et. al. (1999, p. 55), por exemplo, indica que a introdução ao controle normalmente não apresenta aos estudantes a natureza fundamental e os princípios dos sistemas de controle, limitando-se à introdução quantitativa da teoria clássica, conforme ilustrado na seção anterior. Diante desta realidade, Bissell (1999b) propõe a inversão curricular com o ensino de técnicas recentes de controle entre os princípios do controle e a teoria clássica, seu paradigma atual (p. 48). Esta diretriz conduz ao enfraquecimento do paradigma e ao fortalecimento dos princípios do controle, mas, por outro lado, se aplicada indevidamente poderia enfraquecer as próprias bases racionais do controle, que seriam substituídas por bases essencialmente técnicas.

Anteriormente à formação em controle propriamente dita, deveria haver uma preocupação metodológica com a apreensão da realidade, através da modelagem e da identificação de sistemas em geral, que, segundo Horácek (2000, p. 151), costumam ser considerados separadamente da formulação dos problemas de controle, não os compondo. Isto impede que o engenheiro de controle compreenda de forma integral o seu objeto profissional, que será composto de fragmentos importados das engenharias clássicas, onde pouco espaço há para a modelagem e identificação, pré-definidos em cada classe particular de processos.

A fragilidade epistemológica da formação em controle é reforçada pelo não reconhecimento de sua natureza metafísica. Bissell (1999b) questiona a primazia do realismo metafísico na formação em controle, onde a confusão entre realidade e teorias do concreto promove a exclusão do segundo nível de justificação do controle, conforme abordado no capítulo anterior. Infelizmente o autor não distingue ciência e matemática, defendendo que o excesso de ambos empobrece a formação aplicada em controle. De fato, somente o excesso científico restringe a formação, sendo a matemática elementar para o potencial de aplicação do controle. Bissell (idem) reflete uma postura maniqueísta no binômio teoria/prática que tem sido recorrente nas discussões metodológicas do ensino de controle (ver Kheir et. al., 1996, p. 150; Bernstein, 1999, p. 40), geralmente empobrecendo-as.

No Brasil, em função da consolidação institucional do curso, ha uma tendência para estudos mais aprofundados e focados na engenharia de controle, como esta tese, embora ainda persista uma cultura de submissão ao defendido pela comunidade internacional, mesmo

que sobre estruturas mais frágeis e indefinidas. No caso das ciências particulares, Pena et. al. (2001, p. 403), por exemplo, defende a inversão da velha tradição ciência-tecnologia, com a inclusão de disciplinas optativas que dêem aos alunos perspectivas específicas de processos particulares (p. 403). Já no caso da matemática, Brasil (2003c), abordando o caso da UFSC, sugere a substituição de disciplina matemática com temas normalmente ligados aos números complexos por introdução aos modelos lineares (“Sinais e Sistemas Lineares”), com a matemática já sendo abordada em uma semântica metafísica, embora restrita àqueles modelos.

Na comunidade internacional, por outro lado, a prática recorrente dos analistas em não distinguirem a engenharia de controle da formação meramente complementar a outros cursos ofusca a busca de metodologias próprias. Acontece que os objetivos envolvidos são distintos: a engenharia com extensão em controle abordando casos particulares de controle aplicado, com noções teóricas reduzidas; e a engenharia de controle, voltada para a formação integral na área, abordando em profundidade o controle metafísico e tendo o experimental e aplicado como extensões à sua base racional metafísica (similar às bases racionais científicas das engenharias clássicas). Prevalece, pois, a imagem da engenharia de controle enquanto área de serviço para as demais, ora motivando-as, ora integrando-as, o que acaba privilegiando os aspectos técnicos e aplicados do controle em detrimento de bases racionais próprias.

Antsaklis et. al. (1999, p. 55), por exemplo, defende uma formação em controle eminentemente prática com alguma ênfase inicial em princípios elementares, e composta por projetos com graus crescentes de desafio, que motivem os alunos a realizar outro curso, provavelmente de pós-graduação, especificamente em controle. O controle, através da automação, torna-se instrumento de motivação, como em Djaferis (1999), sem ênfase em suas bases racionais, que podem ser facilmente substituídas pela intuição. Assim, na hipótese de posterior aprofundamento na formação, o aluno que se formou em meio ao controle aplicado deverá apreender o controle metafísico, gerando-se conflitos cognitivos. Além disso, a própria tecnologia contemporânea torna o controle suficientemente atraente, sendo desnecessária qualquer motivação adicional, exceto nas engenharias clássicas para motivar o estudo localizado em controle em uma tendência de abstração da tecnologia (Lucky, 1998 e 2002).

Já Bequette et. al., 1999, defende a aplicação do ensino em engenharia de controle como método de integração das engenharias clássicas, ou seja, com a formação prévia em algum caso específico de processo. Esta estratégia, economicamente vantajosa, desenvolve um controle instrumental para as formações tradicionais em engenharia, de forma bem diversa do foco desta tese e do caso brasileiro de engenharia de controle, mas assemelhando-se ao nível de mestrado profissional (regulamentado em Brasil, 1998).

Diante deste contexto pedagógico difuso, emergem, em geral, duas linhas metodológicas possíveis para a formação metafísica: i) a aplicação de ferramentas intuitivas e a conexão direta a processos e a problemas concretos, simplificando-se o ensino metafísico, ou; ii) a garantia de uma formação metafísica mínima a ser aprendida antes da engenharia propriamente dita. A primeira abordagem, que se reflete nos dois casos acima indicados, é indicada a cursos onde o conhecimento em controle esteja na periferia e não em posição central, como nas engenharias clássicas com alguma extensão em controle e nos cursos profissionalizantes. Ela favorece uma visão clássica e aplicada dos princípios do controle, não permitindo, contudo, uma compreensão aprofundada do tema. Infelizmente, esta abordagem, por questões históricas, tende a ser adaptada à engenharia de controle, com a consequente simplificação de sua formação metafísica, que é diluída entre um ensino básico deficitário e a concorrência da metafísica aplicada da informática e dos conhecimentos científicos, tecnológicos e profissionais. Este é o contexto que tenta ser revertido por esta tese, que adota como princípio a segunda linha metodológica acima indicada.

A formação aplicada do controle, por sua vez, costuma ser vinculada aos laboratórios, abordados no próximo capítulo, sendo que Kheir et. al. (1996, p. 156) defende a integração entre eles e a sala de aula (laboratórios de controle), enquanto Bissell (1999b) defende a aplicação da tecnologia da informação como relevante ferramenta metodológica na expansão dos laboratórios, através, por exemplo, dos laboratórios virtuais. Em extensão aos laboratórios, também surge a tendência por uma formação complementar voltada para o exercício da engenharia (laboratórios de automação). Silveira et. al. (1999) propõe a aplicação da metodologia concorrente, sendo a base conceitual ensinada no momento da aplicação, com o risco de basear-se cognitivamente nesta (e não o contrário), em uma formação racional baseada em estudos de caso padronizados. Pena et. al. (2001, p. 402), por sua vez, valoriza o contato com o mercado de trabalho, sugerindo, por exemplo, a inclusão de visitas técnicas durante as férias escolares. Já Pegollo & Shiga (2001) apresentam opções relevantes para um melhor aproveitamento dos projetos finais de curso, defendidos por Ertas et. al. (2000, p. 6) na forma de projetos independentes, que desenvolveriam iniciativa, criatividade, habilidades de pesquisa, de análise e de síntese, autoconfiança e autonomia. Já Bishop & Dorf (1999, p. 365) defende que o projeto envolva inicialmente a modelagem, a especificação de projeto e a identificação das principais variáveis a controlar; para somente então se envolver com a seleção e projeto do controle, diferenciando as etapas da dinâmica epistemológica do capítulo anterior (hipótese epistemológica 6). Brandt et. al. (1996, p. 657), enfim, ao apresentar estratégias adotadas em diferentes países para a melhoria da formação não técnica do

engenheiro de controle, conclui que a exposição a estudos de caso e projetos conduzidos pelos próprios alunos promove: a competência na definição dos propósitos e do impacto da automação; a percepção de aspectos culturais e ambientais; e o desenvolvimento de outras habilidades não técnicas de complementação (de comunicação, por exemplo).

Além de habilidades individuais, o exercício da engenharia também envolve, de forma destacada, a capacidade do contato e síntese coletivos. Nesse aspecto, Dillenbourg et. al. (1996) apresenta um levantamento de resultados ligados ao aprendizado colaborativo, indicando estratégias de ensino que promovem os aspectos sociais do aprendizado e a futura valorização de características ligadas ao trabalho em equipe. Alguns dos relevantes resultados destacados pelo autor são: pertinência do metaconhecimento (próprio do conhecimento em controle) como fator positivo aos grupos (pp. 203 e 205); definição de grupos moderadamente heterogêneos (pp. 197 e 201); grupos de dois membros sendo mais efetivos, ao possibilitarem menor competição, que desaparece quando os alunos podem interagir livremente com a turma (p. 198); necessidade da negociação no ensino, evitando-se o monólogo (pp. 207-209); substituição de conflitos sociais (bloqueios não epistemológicos – criticismo, preconceitos etc.) por cognitivos (ligados à resolução de problemas e a conceitos – p. 205); minimização de explicações reducionistas, que não atendem às expectativas cognitivas dos alunos, e podem conduzi-los ao aprendizado equivocado (bloqueios epistemológicos) e/ou à perda de motivação no tema (p. 201, o que infelizmente acaba ocorrendo na formação matemática).

Estes são, enfim, aspectos metodológicos relevantes levantados pelos autores ligados ao ensino de controle, de onde se percebe a profusão de opiniões baseadas em experiências particulares, mas alheias a qualquer epistemologia do conhecimento envolvido, como preconiza esta tese. Inexiste, assim, a busca de um sistema de apoio ao desenvolvimento metodológico da formação, que sistematize e oriente a pedagogia decorrente das técnicas de ensino, integrando-as em torno de estratégias globais de formação. Corre-se o risco, assim, de avaliar a formação com o foco em disciplinas e departamentos isolados, valorizando-se os aspectos epistemológicos imediatos em detrimento de aspectos estratégicos e metodológicos, prejudicando a intervenção global por uma dinâmica de ações pedagógicas fragmentadas e pragmáticas. Nessa carência no debate metodológico, a confusão entre método e modelo (Anexo A.8) reforça a aplicação tácita e individualizada de sistemas modelo/método sem um envolvimento estratégico consciente. O vácuo metodológico leva os professores à repetição intuitiva dos métodos em que foram formados, mesmo que sob uma realidade diferente. Pode ocorrer, neste caso, a realimentação e revisão do modelo pedagógico histórico (implicitamente empregado) em uma perspectiva de regulação e não da necessária evolução, fazendo com que

métodos e técnicas anteriores sejam mascarados por uma nova roupagem conceitual, sem qualquer ajuste efetivo. Esse risco existe para o modelo pedagógico desta tese.

### 3.3.3 Estruturas Curriculares de Referência

Após aspectos epistemológicos e metodológicos ligados à questão curricular, apresentam-se aqui estruturas curriculares de referência que ilustram essa realidade, enriquecendo o debate através de um panorama geral ilustrativo. O anexo C apresenta, em sua parte inicial, uma síntese dos cursos, presentes em 21 instituições com mais de 2.500 vagas anuais, sendo a maioria em instituições de caráter privado. Esta realidade, comparada com as 25 vagas anuais há pouco mais de uma década, reforça a relevância estratégica desta tese.

Dessas 21 instituições foram selecionadas quatro cujos cursos representam uma amostra qualitativamente relevante da realidade nacional, ou seja, ao mesmo tempo em que influenciaram as demais instituições, também apresentaram alternativas diferenciadas para a formação em engenharia de controle: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC/MG; Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP; Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG; e Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

As estruturas curriculares desses cursos estão na segunda parte do Anexo C, sendo as correspondentes ementas acessíveis através dos endereços eletrônicos lá indicados. Elas originaram-se a partir de Brasil (1976) e Brasil (1994), sendo aqui tratadas segundo o tipo de conhecimento envolvido, através das seguintes espécies de disciplinas:

1. Formação Básica – Também inclui as disciplinas de informática e as voltadas à formação geral em engenharia (metodológicas).
2. Sistemas Específicos – Disciplinas relacionadas a sistemas particulares, normalmente ligadas a cursos clássicos de engenharia.
3. Sistemas Gerais – Disciplinas que abordam os sistemas segundo uma concepção geral, onde também foram incluídas disciplinas que tratam de sistemas industriais em geral, que apresentam ênfase especial dos nossos cursos de engenharia de controle.
4. Controle – Disciplinas que abordam o tratamento metafísico de sistemas segundo uma perspectiva de controle.
5. Suporte Material – Disciplinas ligado aos controles experimental e aplicado.

O Anexo C indica ainda como foram distinguidas as disciplinas dos cursos de referência, segundo as espécies supra, com uma síntese sendo apresentada na tabela 3, onde os valores indicam os respectivos créditos. Algumas áreas aparentemente não tratadas nos cursos

podem estar diluídas em outras, como no caso do laboratório de controle e automação, que não está explícito na estrutura curricular da UFSC, mas ocorre internamente nas disciplinas conceituais. As disciplinas optativas, por sua vez, estão em parêntesis, com um mínimo obrigatório na PUC/MG e na UFMG. Não foram consideradas na análise somente três disciplinas optativas (10 créditos), pela dubiedade em seu nome e pela falta da ementa.

		PUC/MG	UNICAMP	UFMG	UFSC
1.	Cálculo e Cálculo Numérico	29 +	26 +	22 (4) +	17 (11)* +
2.	Geometria e Álgebra	6 +	4 +	4 +	8 (16)* +
3.	Estatística e Probabilidade	4 = <b>39</b>	4 = <b>34</b>	4 = <b>30 (4)</b>	3 = <b>28 (27)</b>
4.	Física Teórica	34 +	32 +	31 +	24 +
5.	Física Experimental	3 +	2 +	9 +	6 +
6.	Química	5 = <b>42</b>	8 = <b>42</b>	7 = <b>47</b>	5 = <b>35</b>
7.	Informática – Aspectos Materiais	32 (8) +	32 +	26 (4) +	26 +
8.	Informática – Aspectos Lógicos	10 = <b>42(8)</b>	20 = <b>52</b>	8 (18) = <b>34 (22)</b>	20 = <b>46</b>
9.	Formação Básica Complementar	30 +	14 +	16 (2) +	11 +
10.	Formação Geral em Engenharia**	5 (4) = <b>35(4)</b>	16 = <b>30</b>	5 (15) = <b>21 (17)</b>	12 = <b>23</b>
	<b>Formação Básica Total</b>	<b>158 (12)</b>	<b>158</b>	<b>132 (43)</b>	<b>132 (27)</b>
11.	Sistemas em Geral	0 (4)	0	0 (4)	4
12.	Sistemas Industriais	12	4	4	12
13.	Sistemas Lineares	5	0	6	12
	<b>Sistemas Gerais</b>	<b>17 (4)</b>	<b>4</b>	<b>10 (4)</b>	<b>28</b>
14.	Materiais	2	14	0	5
15.	Sistemas Mecânicos	0 (12)	24	3 (8)	7
16.	Sistemas Elétricos	14 (32)	2	12 (6)	5
17.	Sistemas Mecatrônicos (Robótica)	0 (4)	8	0 (9)	3
18.	Sistemas Estocásticos	4	0	0 (4)	0
19.	Outros Sistemas Específicos	0	0	0 (12)	0
	<b>Sistemas Específicos</b>	<b>20 (48)</b>	<b>48</b>	<b>15 (39)</b>	<b>20</b>
20.	Controle Clássico	4	8	8	6
21.	Controle a Eventos Discretos	4	0	0	4
22.	Outras Formas de Controle	4 (8)	0	3 (11)	7
23.	Lab. de Controle e Automação	2	2	8	0
	<b>Controle (Trat. Metafísico)</b>	<b>14 (8)</b>	<b>10</b>	<b>19 (11)</b>	<b>17</b>
24.	Medição	8	6	3	4
25.	Controle e Atuação	0	8	0 (5)	7
26.	Integração	0	0	6	3
	<b>Instrumentação (Suporte Mat.)</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>9 (5)</b>	<b>14</b>
	Não consideradas (sem ementa)	0 (8)***	0	0 (2)****	0
	Optativas Necessárias	12 de 80	0	43 de 104	0
	<b>TOTAL DE CRÉDITOS</b>	<b>229</b>	<b>234</b>	<b>228</b>	<b>211</b>

\* Optativas resultam da diferença entre os créditos do Programa Avançado em Matemática e os regulares em cálculo e em geometria e álgebra, pois as optativas validam as obrigatórias.

\*\* Inclui Desenho Técnico

\*\*\* Tópicos Avançados em Automação

\*\*\*\* Tópicos Especiais em Engenharia de Controle e Automação

Tabela 3 – Análise das Estruturas Curriculares de Referência

A formação básica não apresenta ensino voltado para a comunicação interpessoal, diluída na formação técnica em uma aparente contradição com Brasil (2002). Essa formação está assim assentada em três eixos principais – informática, ciências (química e física, essencialmente) e matemática –, além de disciplinas complementares (direito, economia, ecologia etc.) e de formação geral em engenharia (desenho técnico, projeto etc), que preenchem os espaços curriculares disponíveis.

A informática apresenta duas perspectivas, a tecnológica ou material e a lógica ou racional, sendo esta especialmente relevante para o controle. Na prática, ambas não estão dissociadas, pois todo mecanismo computacional apresenta alguma lógica de processamento, sendo a distinção realizada para distinguir a base metafísica do conhecimento em controle (lógica) da instrumental (material). Os cursos apresentam uma ênfase maior no aspecto material, que posteriormente irá complementar a formação no suporte material do controle, estando os aspectos lógicos, por sua vez, relativamente dissociados da formação em controle.

A formação matemática apresenta alguma aproximação com a lógica através do cálculo numérico, refletindo, por outro lado, uma ligação direta com disciplinas científicas em detrimento da matemática para o controle. Isto porque essas disciplinas costumam ser tratadas, por influência histórica, como pré-requisitos para as científicas, isolando linguagem (matemática) e semântica (metafísica).

Em relação à formação voltada a aspectos metodológicos gerais da profissão de engenheiro, deve-se destacar inicialmente a tendência, sintetizada em Vallim (2000), pelo surgimento de disciplinas introdutórias que abordem temas de engenharia e de seu método, dentre outros relacionados à adaptação dos novos alunos à realidade do ensino superior e à futura realidade profissional (o caso da UFSC é tratado no quinto capítulo). A introdução à engenharia é complementada com temas como o projeto, a segurança e a qualidade, e com os próprios estágios e projetos finais de curso.

A partir da formação básica, e em paralelo com alguma formação e prática metodológica em engenharia, está a formação diretamente ligada ao conhecimento em controle. Conforme segundo capítulo, tal formação pode ser vista sob três aspectos: apreensão da realidade a controlar, tratamento metafísico e suporte material para o controle.

A apreensão da realidade a controlar pode ser abordada de modo sistêmico (Sistemas Gerais) ou através dos processos particulares (Sistemas Específicos), de modo fragmentário. As estruturas curriculares apresentam uma ênfase reduzida no estudo geral dos sistemas, embora exista alguma tendência para a utilização de modelos lineares e para alguma formação voltada aos processos industriais em geral, em consonância com o descrito pelos

autores da comunidade internacionais. Praticamente inexistem, assim, espaços próprios para a modelagem e a identificação de sistemas, sendo estas tratadas como atividades acessórias às demais, quando de fato representam a essência da racionalização própria do conhecimento em controle. Reside neste aspecto, o gargalo para a formação generalista desejável à engenharia de controle. Tal deficiência é contrabalançada por alguma ênfase em sistemas particulares, herdadas das engenharias clássicas, com diferentes direcionamentos nos cursos de referência. Os alunos serão, pois, influenciados à incursão ao controle com base nos sistemas em que eles tiverem maior domínio, em uma condição reforçada pela eventual carência na formação geral em controle. A transcendência para outros sistemas dependerá das conexões por analogia que serão realizadas, em uma forma indutiva de aprendizagem continuada que diverge da generalidade própria do estudo de sistemas (abordagem top-down).

O curso da UFSC é o único que apresenta mais créditos ligados a sistemas gerais que sistemas particulares, havendo ainda uma distribuição uniforme entre sistemas mecânicos, elétricos, mecatrônicos e sobre materiais. Já o curso da UFMG apresenta o menor número de créditos obrigatórios em sistemas específicos (com pequena ênfase em sistemas elétricos), disponibilizando de forma opcional os créditos relacionados a diferentes classes de sistemas, inclusive os biológicos, colocando-os a serviço do conhecimento em controle, e não o oposto. O curso da UNICAMP, por sua vez, apresenta uma forte ênfase em sistemas mecânicos (juntamente com o estudo de materiais, corresponde à cerca de 75% da formação curricular em sistemas e à metade da formação não básica), não havendo dúvida de se tratar de uma engenharia específica de controle de sistemas mecânicos (a disciplina introdutória ao controle inclusive apresenta esta denominação). O curso da PUC/MG, ao contrário da UNICAMP, tem uma ênfase nos sistemas elétricos (aproximadamente 70% das disciplinas voltadas a sistemas particulares, mesmo a eletrônica sendo considerada como compondo os aspectos materiais da informática). Por outro lado, este curso apresenta um maior equilíbrio entre a formação geral em sistemas e a formação específica.

A ênfase desses cursos em sistemas elétricos e mecânicos é parcialmente explicável por Brasil (1976), que caracterizou a engenharia de controle como habilitação oriunda das áreas elétrica e mecânica, com alguma ênfase nos respectivos sistemas, inclusive os mecatrônicos e de manufatura. Deste modo, o estudo de sistemas químicos, por exemplo, permaneceu limitado à formação do engenheiro químico, apesar da relevância do controle de processos químicos<sup>6</sup>. De qualquer modo, os fundamentos científicos de base não são

---

<sup>6</sup> O controle de processos é área de formação obrigatória da Engenharia Química

primordiais se o engenheiro de controle for capaz de operar sobre suas interfaces metafísicas, o que efetivamente se tem demonstrado na UFSC com egressos relacionando-se diretamente com o controle de processos químicos.

No segundo aspecto epistemológico, o tratamento metafísico, confirma-se sua introdução a partir do controle clássico acompanhado de atividades de laboratório, após uma eventual preparação em modelos lineares. Ao clássico seguem-se outras espécies, tais como os controles moderno e de sistemas modelados a eventos discretos. O principal ponto a ser ressaltado neste aspecto, é a ênfase reduzida ao tratamento metafísico, com menos da metade dos créditos destinados à física, por exemplo. Além disso, há uma ênfase especial aos controles clássico e moderno (únicos no caso da UNICAMP), com alguma formação adicional em controle de modelos a eventos discretos e não lineares, sendo os demais pouco aprofundados e/ou restritos a optativas. Não há uma formação geral ao problema do controle, resumindo-se este a alguma motivação para o clássico, que costuma ter a exclusividade também do controle experimental, ficando os demais restritos ao analítico e ao simulado.

No aspecto do suporte material, a formação concentra-se especialmente em aspectos de medição e atuação, com menor ênfase na integração física de sistemas, essencial no estágio atual do desenvolvimento tecnológico. Tal formação está normalmente baseada nos aspectos materiais da informática agregados a alguma formação adicional nos sistemas físicos (elétricos, mecânicos, pneumáticos, eletrônicos e hidráulicos). Os cursos, exceto a UFMG, apresentam, em sua primeira metade, disciplinas próprias de metrologia, adaptadas da engenharia mecânica. Apresentam ainda, exceto a PUC/MG (tem disciplina de Acionamentos Elétricos, tratada como relativa a sistemas elétricos), uma formação específica em atuadores e controladores, sendo que a da UFMG é optativa. Por último, somente os cursos da UFMG e da UFSC apresentam disciplinas próprias para a integração do suporte material do controle, através da ênfase em sistemas de controle distribuídos, o que demonstra alguma carência em direção à principal aplicação do controle atualmente, a automação, que inclusive compõe a denominação oficial dos cursos.

Sobre as optativas, somente os cursos de Minas Gerais apresentam optativas “obrigatórias” no currículo, que oferecem uma certa flexibilidade através, em tese, de temas que não caracterizam a formação, mas a complementam em direções escolhidas pelos alunos. Nesta direção, não deveria haver disciplinas optativas em controle (e mesmo em sistemas gerais), sendo que nos cursos citados, as respectivas disciplinas de controle poderiam ser transformadas em obrigatórias sem o aumento da carga curricular (que na PUC/MG ficaria praticamente saturada). Por outro lado, ressalte-se o novamente o oferecimento de disciplinas

optativas para o estudo de sistemas particulares, que não poderiam estar baseadas somente nas respectivas teorias científicas, mas principalmente em aspectos gerais de sistemas e controle.

Este é, enfim, um apanhado geral de padrões e diferenças observados nos quatro cursos de referência considerados, e que permite observar os reflexos da evolução histórica da engenharia de controle no Brasil sobre sua realidade curricular, com currículos historicamente construídos, referenciados em Bruciapaglia (et. al., 1990) e em Brasil (1976). O tratamento do tema não foi exaustivo, permanecendo diversas conclusões adicionais que podem ser extraídas simplesmente avaliando-se os dados indicados na tabela 2 e no Anexo C.

De outro lado, a partir deste breve estudo, pode-se perceber como é limitado um estudo pedagógico baseado em estruturas curriculares, mesmo em se considerando as ementas das disciplinas. Isto ocorre porque muito da dinâmica pedagógica não é explícito pelas estruturas curriculares, que são essencialmente estáticas. Em direção a um entendimento mais aprofundado, a resposta à questão centra da tese surge como alternativa viável. Nesta direção, o caminho para o desenvolvimento do modelo pedagógico deve transcender o mero estudo de estruturas curriculares para avançar sobre sua dinâmica pedagógica implícita, conforme realizado a partir da próxima seção seguinte.

### **3.4 FORMAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE**

Em alguns casos, especialmente em instituições universitárias, as deficiências do reducionismo curricular são suavizadas por um sistema de oportunidades de extensão e pesquisa, dentre outras externas, que permitem aos alunos a busca de apoios epistemológicos não adequadamente disponibilizados nas disciplinas. Esse currículo externo, denominado de complementar, não tem, contudo, a finalidade de formação epistemológica, mas a finalidade de eventual fonte de motivação para a aprendizagem, e de complementação de habilidades e experiências que irão facilitar o futuro ingresso profissional.

Não se pode, assim, avaliar a formação em engenharia de controle segundo as estruturas curriculares, conforme indicado no final da seção anterior, nem imputar a busca de alternativas a partir do currículo complementar. De fato, o modelo epistemológico do capítulo anterior e a consciência sobre a evolução histórica do curso enriquecem o debate permitindo que o estudo da formação em engenharia de controle seja aprofundado em direção à definição do modelo pedagógico deste capítulo. Em primeiro lugar, contudo, deve-se definir *o objetivo da formação em engenharia de controle*.

Em linhas gerais, o engenheiro de controle deverá ser o profissional capaz de resolver todo e qualquer *problema de controle*, o qual, por sua vez, pode ser caracterizado como aquele problema de engenharia relacionado à dinâmica epistemológica do controle, isto é, que envolve a abstração de segunda ordem da realidade, o tratamento metafísico em uma perspectiva de controle e a conseqüente ação sobre a realidade. Estes três aspectos são interdependentes e não excludentes, não cabendo a especialização do engenheiro de controle, que se torna, deste modo, um intermediário entre o conhecimento em controle e a realidade, com destaque para a automação.

Quando o conhecimento em controle é agregado à engenharia, duas visões distintas são forçadas a operar conjuntamente: o controle teórico e metafísico, e a engenharia pragmática e historicamente científica. Esta condição é confirmada pelo estudo do capítulo anterior, onde o controle automático apresenta tendências de pensamento que emergem das tradições metafísica e tecnológica de sua comunidade. Entretanto, esta última é predominante em decorrência da origem majoritária dos seus membros e de sua própria origem histórica, fortemente vinculada a engenharias clássicas. Murray et. al. (2003, p. 2) ilustra bem esta realidade ao indicar que “o controle se refere ao uso de *algoritmos* e da realimentação em sistemas tecnológicos”, e que “a realimentação é uma *ferramenta* para o gerenciamento de incertezas” (grifei). Esta ênfase tecnológica do conhecimento em controle reflete o pragmatismo da engenharia, tendo a utilidade como princípio central e o conhecimento como meramente instrumental. Entretanto, o engenheiro deve buscar, mais do que a aplicação direta, também o aprimoramento no potencial de representação e interpretação racional da realidade, e no respectivo entendimento de controle, de onde surgiriam melhores aplicações.

A partir da presença do conhecimento em controle em diferentes engenharias que usam suas ferramentas (Murray et. al., 2003, p. 14), tende a uma pedagogia para sua engenharia que seja fundamentada nos mesmos moldes do ensino tecnológico em geral, estendendo o que é implementado no ensino localizado de controle em engenharias clássicas. Tende-se, assim a manter uma linha pedagógica clássica que irá propiciar a formação de profissionais razoáveis no gerenciamento de equipes e de problemas multidisciplinares, papel acessório relevante ao engenheiro de controle ou a qualquer engenheiro de sistemas. No entanto, a questão central da formação do engenheiro de controle não está relacionada à sua capacidade sócio-profissional, mas à sua efetiva aptidão para “engenheirar” problemas reais de controle, que depende diretamente de suas capacidades de abstração e formalização. Infelizmente, a consolidação de uma inversão epistemológica historicamente legitimada, onde o conhecimento em controle é baseado em classes particulares de sistemas e em fragmentos

dissociados, tende a impor bloqueios cognitivos que dificultarão o domínio do controle nos seus mais diversos e essenciais aspectos. Um exemplo dessa fragmentação é o isolamento entre o controle de processos e o da manufatura, abordados através de modelos no tempo e a eventos discretos, respectivamente, cujo distanciamento poderá ser quebrado a partir do recente desenvolvimento computacional e das comunicações (Jordon apud Johnson & Grimble, 1996), reforçando-se sua natureza epistemológica comum, demonstrada nesta tese.

Uma engenharia de controle que falhe em ensinar o conhecimento em controle a partir de sua essência, mesmo que de forma não plenamente aprofundada, tarefa que ainda parece depender em certo grau da pós-graduação, poderia ser simplesmente denominada de *engenharia geral* (lembrando a antiga engenharia industrial). Bissel (1999) e Antsaklis et. al. (1999) fornecem detalhes adicionais sobre este problema e sobre a necessidade de uma formação mais ampla em controle; chegando a tais conclusões a partir de opiniões e percepções individuais, mas que coincidem com as questões de base aqui discutidas.

O currículo de engenharia de controle, ao puramente estender o que já é colocado em engenharias clássicas, acaba permanecendo lastreado no controle clássico e nos fundamentos matemáticos que o introduzem naquelas engenharias. Estes fundamentos são, por sua vez, ensinados isoladamente no início do curso, sem a devida conexão ao controle, repetindo os arcabouços matemáticos padronizados das engenharias clássicas, condição esperada em uma estrutura que replica o ciclo básico daquelas engenharias. Posteriormente, já no ensino de controle, eventuais extensões matemáticas e lógicas tenderão a ser apreendidas da mesma forma que os fundamentos, ou seja, com base em casos padronizados. A matemática e a lógica seriam assim percebidas como instrumentos de apoio e não como bases racionais. Os professores de controle são então forçados a desviarem esforços para a recuperação de algum interesse real nesses fundamentos, exatamente ao mesmo tempo em que os alunos são bombardeados com alternativas mais atraentes mas não necessariamente adequadas como é o caso típico da solução por tentativa e erro de problemas simulados.

Neste contexto, mesmo as bases racionais próprias do controle clássico podem ser substituídas por velhas técnicas de ajuste de controladores industriais, com uma formação ainda mais limitada, e onde a bibliografia didática se cerca “de demonstrações do pêndulo invertido, do modelo do helicóptero, tanque d'água etc. – todos cuidadosamente adaptados para encaixar-se na teoria” (Bissell, 1999b, p. 46), de modo que o conhecimento tende a ser tecnicamente absorvido através de casos padronizados sem a devida racionalização.

Assim, o simples aumento no conteúdo matemático, com extensões implícitas em lógica, sem a correspondente adaptação ao controle, tende a reforçar os bloqueios

cognitivos dos alunos. “Uma abordagem matemática excessivamente formal, distante da realidade profissional, pode obscurecer aquelas várias áreas que a matemática é suposta a atingir” (Bissell et. al., 2000), principalmente naquelas onde seu domínio é mais relevante, como é o caso do controle, do mesmo modo que uma abordagem lógica oculta em técnicas computacionais e/ou isolada do restante do controle.

Estes fatores demonstram que a formação em controle não se resume pois a uma questão curricular *stricto sensu*, de definição de conteúdos a serem localmente ensinados. A análise curricular tradicional trata o conhecimento de forma estática, desconsiderando, por questões de simplicidade, seus aspectos dinâmicos. Isto pode ser explicado pela carência de modelos epistemológicos e pedagógicos que sintetizem a dinâmica do conhecimento em seu processo de evolução coletiva e individual. Uma maior quantidade de conteúdos de controle no currículo não irá, pois, necessariamente proporcionar um melhor resultado pedagógico.

A implantação de cursos específicos de controle na graduação, que demandam pela reestruturação do seu ensino, conforme Murray et. al. (2003, p. 14), exige a busca de um equilíbrio epistemológico diferente do modelo adotado nas engenharias clássicas, o que se torna viável com a reforma educacional em andamento, que possibilita uma melhor adequação dos cursos a suas realidades epistemológicas e pedagógicas. Em outros países, como nos Estados Unidos (Balchen, 1997, p. 105), a situação é menos favorável, sendo as disciplinas de controle usualmente oferecidas por diferentes departamentos (com diferentes dialetos), e os cursos condensados em apenas quatro anos (Dorato, 1999, p. 38).

Apesar do contexto favorável no Brasil, a confusão com engenharias clássicas naturalmente persiste, porque, apesar das mudanças legais, permanece o componente cultural, principal fator de sobrevivência de qualquer paradigma (ver Becker, 1998). A relação entre determinada comunidade acadêmica e os aprendizados individuais dos conhecimentos por ela desenvolvidos é uma relação de circularidade, onde ela influencia na formação intelectual de novos especialistas, que, por sua vez, renovam a comunidade. A formação em engenharias clássicas torna os pensadores do controle predispostos a aplicarem os mesmos modelos epistemológico e pedagógico como referencial para a engenharia de controle, dificultando a percepção acerca das diferenças essenciais. Esta realidade poderá alterar-se lentamente com a emergência de novos membros formados já na engenharia de controle, embora ainda com uma ascendência indireta das engenharias clássicas, tanto por influência de seus professores como do modelo de formação adaptado daquelas engenharias. Também será positiva a combinação com membros de áreas sistêmicas, como os matemáticos, ainda essencialmente vinculados à pós-graduação e a um ensino básico dissociado da formação em controle.

Outro fator humano relevante no ensino de engenharia de controle é o fato de que os professores de graduação habitualmente não possuem uma base filosófica adequada acerca do conhecimento (epistemologia) e dos seus processos de ensino e aprendizagem (pedagogia), sendo especialistas de áreas particulares de dedicação. A manutenção deste contexto, sem modelos de referência, promove didáticas intuitivas e sem consistência filosófica, onde cada professor evidencia os aspectos particulares por ele ensinados, sem a busca de um enfoque epistemológico e de resultados de formação globais.

Enfim, a tendência para a adoção de atalhos pedagógicos ligados a abordagens intuitivas, como as ferramentas de simulação, dificulta incursões posteriores à essência do conhecimento em controle, que qualquer aluno do curso certamente deveria apreender. Esta incoerência é reforçada para o controle se considerarmos a íntima relação da intuição com o empírico, que é epistemologicamente antagônico ao metafísico. Assim sendo, a falta de estratégias próprias impõe sérios riscos à formação de engenheiros que dependem da formação metafísica para a resolução de problemas de controle. No aprofundamento desta discussão são traçados a seguir pontos relacionados especificamente ao ensino metafísico.

### **3.4.1 Ensino Metafísico**

Conforme indicado até aqui, ao assumir um modelo pedagógico adaptado das engenharias clássicas, a engenharia de controle adota um processo limitado para a necessária aprendizagem de seus fundamentos metafísicos. Como indica Antsaklis et. al. (1999, p. 53), muitos dos alunos “estão mais mal preparados em matemática e ciência, enquanto estão mais bem preparados para operar a moderna *tecnologia* computacional” (grifei) que está invadindo a sala de aula, reduzindo o espaço dos fundamentos do controle (Heck, 1999, p. 37). Ocorre que a aplicação da computação na substituição de procedimentos metafísicos não diminuiu sua importância para os engenheiros (Bissell, 1999b, p. 46), além do que, a tecnologia atual, em especial a automação, requer um preparo matemático e científico ainda melhor (Dorato, 1999, p. 38-39), com uma densa base teórica e uma correspondente interação com a matemática (Murray et. al., 2003, pp. 11 e 18). A própria indústria deseja que os educadores forneçam os fundamentos técnicos que permitirão aos engenheiros permanecerem atualizados e competitivos em um mercado dinâmico e global (Kheir, 1996, p. 152). Ressalte-se, nessas referências, a deficiência nos modelos epistemológicos adotados, aparente na confusão entre matemática e metafísica, e na utilização de “fundamentos técnicos” no lugar de “bases racionais”, que decorreu da visão da indústria, restrita aos aspectos aplicados da formação.

Assim, embora haja diversas opiniões de insatisfação com os resultados pedagógicos relativos à metafísica, pouco se tem conseguido avançar em direção a alternativas gerais.

Nas engenharias clássicas persiste um único eixo epistemológico, que parte de um sistema particular de conhecimentos científicos em direção a suas aplicações tecnológicas. Este eixo tende a ser intuitivamente replicado na engenharia de controle, conforme seção anterior. No entanto, a introdução de um terceiro componente epistemológico na engenharia de controle, o metafísico, origina uma relação epistemológica diferenciada que deveria afetar diretamente a relação pedagógica, tendo sido talvez o principal argumento para o surgimento dos cursos de engenharia de controle na perspectiva de um exercício profissional igualmente diferenciado (Bruciaglia & Farines, 1990). Assim, se nas engenharias clássicas a distinção entre ciência e tecnologia pode ser construída intuitivamente no decorrer do processo de aprendizagem, com a introdução do componente metafísico, este caminho implícito estimula confusões cognitivas na percepção do conhecimento. Deve-se pois posicionar corretamente o espaço pedagógico de cada uma dessas três formas de conhecimento.

Pode haver duas posturas epistemológicas diferenciadas para o conhecimento metafísico em sua relação com a ciência e a tecnologia: instrumental ou técnica, e racional. Nas engenharias clássicas, a maior complexidade da tecnologia tem forçado a maior abstração das teorias científicas de sustentação, fazendo com que implicitamente algum conhecimento metafísico seja aplicado através do crescente potencial computacional, conforme Balchen (1999, p. 105), muitas vezes substituindo o conhecimento científico particular na forma de algoritmos de cálculo e de simulação de casos padronizados. Já na engenharia de controle, como qualquer engenharia de sistemas, além desta metafísica técnica, que perturba o modelo epistemológico do controle, surge o conhecimento metafísico racional, baseado na lógica e na metafísica, e que sustenta o técnico. Esta formação metafísica de base deve assumir o papel de protagonista do processo pedagógico, prevalecendo sobre eventuais metafísicas aplicadas, que catalisam relações particulares entre ciência e tecnologia, ao contrário do conhecimento em controle, que idealmente integra todas as ciências particulares a toda a tecnologia possível.

Infelizmente, o caminho que emerge dos modelos clássicos para a engenharia de controle acaba forçando seu conhecimento a encaixar-se em estruturas educacionais postas, originadas em outra realidade pedagógica. Este processo de acomodação de conhecimentos metafísicos promove um reducionismo epistemológico através de uma pedagogia baseada em casos particulares, onde se tende à metafísica técnica acima citada, com um conhecimento metafísico transformado em simples ferramenta computacional de processamento de sinais. O aprendizado pode ser assim restrito à apreensão de alguns poucos aspectos de tal ferramenta

ou técnica computacional, os mínimos para a aplicação em algum contexto particular, enfraquecendo a formação metafísica em controle.

A consequência mais evidente é o estrangulamento do ensino metafísico entre o científico e o tecnológico. A automação prescindiria, neste caso, da razão metafísica em prol de fundamentos científicos e técnicas particulares, com um distanciamento entre linguagens racionais e a prática profissional, o que consolidaria um fosso entre as teorias de controle e sua prática, que estaria apoiada em um arsenal de técnicas localizadas.

De fato, o maior diferencial epistemológico do engenheiro de controle, talvez não reconhecido pelo mercado, é sua razão metafísica, que proporciona a necessária visão orgânica à aplicação geral do controle, com um compromisso entre sua generalidade e a especificidade dos possíveis contextos de aplicação, na real dualidade entre teoria e prática. Concepções metafísicas frágeis prejudicam esse contexto, reduzindo o diferencial desse engenheiro em relação ao clássico, que também teve algum conhecimento metafísico, mesmo que aplicado, em sua formação, inclusive em eventuais disciplinas opcionais em controle.

A insuficiência na apreensão do conhecimento metafísico leva o engenheiro de controle a ter uma atuação profissional restrita a tecnologias particulares, onde ocupará o exato espaço dos engenheiros clássicos com alguma extensão em controle. Contudo, por não apresentarem o mesmo domínio de classes específicas de processos que os respectivos engenheiros clássicos, tais engenheiros de controle tenderão a um círculo profissional vicioso onde a carência de conhecimentos metafísicos e clássicos consistentes levará à fuga acrítica à técnica e à importação de tecnologias, com o exercício da engenharia estando baseado em um apanhado de técnicas particulares apoiadas em um ou dois sistemas de simulação.

A carência na formação metafísica promove, assim, uma percepção individual baseada em fragmentos dispersos, com o controle sendo balizado, conforme sugere Bissell (1999b, p. 47), por fronteiras artificiais entre diferentes contextos tecnológicos, como no caso de processos contínuos e de sistemas de manufatura. Os modelos decorrentes acabam sendo pedagogicamente trabalhados sem uma perspectiva de diálogo racional, mas exclusivamente a partir de suas tecnologias específicas, que ironicamente estão intimamente interligadas nos sistemas industriais, principais espaços atualmente ocupados pelos engenheiros de controle<sup>7</sup>. Essa excessiva restrição aos aspectos tecnológicos prejudica a capacidade de abstração e de integração que é esperada em um profissional sistêmico como o engenheiro de controle.

---

<sup>7</sup> As pesquisas sobre modelos híbridos, por exemplo, representam uma tentativa da comunidade em reverter esse quadro fragmentário.

Não bastasse a confusão entre conhecimentos científicos, tecnológicos e metafísicos, o reduzido intervalo alocado para o terceiro, pressionado entre os outros dois, é o mesmo onde se processa a formação básica em engenharia, na zona epistemológica que classicamente liga o conhecimento científico à sua aplicação tecnológica. Exatamente nesse período, despontam esforços para melhorar a formação profissional em engenharia, onde eventuais níveis inferiores de aprendizado racional seriam equilibrados com uma formação proativa que valorizasse a criatividade, o espírito crítico e o trabalho em equipe, como, por exemplo, no caso da metodologia “*hands-on*” (Silveira et. al., 1999), onde também se tem verificado a “tendência da troca dos conceitos por protocolos de resolução de problemas específicos, decorrente de um ‘pragmatismo absoluto’” (idem, p. 106). A formação metafísica é deste modo oprimida por pressões científicas, tecnológicas e profissionais.

Além disso, em contraposição a boas proposições na formação profissional, o ensino metafísico vem sendo sustentado por práticas tradicionais de sala de aula que, diante de alternativas mais atraentes, inclusive a metafísica aplicada dos simuladores, resultam em menores níveis de motivação e em piores efeitos pedagógicos. Neste contexto, acaba-se criando a falsa percepção de que o aprendizado metafísico irá requerer, para ser efetivo, de uma exaustiva repetição de dados. Muitos educadores realmente acreditam que o único modo de ensinar a metafísica do controle é pela repetição em cursos consecutivos de controles clássico e moderno, dentre outros, e que durante este tempo algumas habilidades práticas devem ser concomitantemente promovidas (ver Salum, 1999, 113). Não se pode confundir a formação com o amadurecimento do conhecimento, conforme trabalhado no quinto capítulo.

Nessa “concorrência” com a formação profissional, tende-se à formação de operadores de tecnologias particulares ao invés de integradores/estrategistas de tecnologia, em flagrante desacordo ao modelo epistemológico do capítulo anterior. Estima-se indevidamente que a incursão nos conceitos elementares do controle possa ser antecipada por equivalentes práticos, como por exemplo, os ligados a exercícios de simulação e a técnicas de controle, que acabam impondo reducionismos a elementos fundamentais do controle, como os ligados à representação dos sistemas e à interpretação dos modelos. Essa distorção é motivada pela percepção do controle como uma área que envolve múltiplas tecnologias e que estaria baseada nos aspectos práticos de diferentes campos (Kheir et. al., 1996, p. 152), esvaziando-se seu próprio conhecimento em prol de uma abordagem agregadora de fragmentos dispersos em diferentes áreas da tecnologia. Tem-se assim uma armadilha pedagógica que pode conduzir o futuro engenheiro de controle a uma formação restrita a instâncias isoladas de controle aplicado, no máximo experimental, em detrimento das teorias e métodos lógico-matemáticos

que sustentariam sua formação metafísica (Heck, 1999, p. 37), e das técnicas de modelagem, projeto e análise de sistemas de controle (Bishop & Dorf, 1999, p. 364). Esta armadilha torna-se ainda mais sedutora na medida em que novas gerações, crescidas na informática, preferiram “montar os equipamentos por tentativa e erro do que ler os manuais de instrução” (Fogler, 1997, p. 2), de modo que “tenderão a juntar tudo em um processo de simulação ou pacote de software, aceitando qualquer saída, falhando muitas vezes em sua análise crítica” (idem). A importância dos sistemas computacionais não pode ser supervalorizada, tanto em termos de ferramentas de projeto quanto de implementação (Murray et. al., 2003, p. 19).

Bernstein (1997, p. 96), por exemplo, reconhece a especificidade da formação em controle ao reconhecê-la como intrincada, onde é extremamente fácil aos alunos perderem o todo pela ênfase excessiva nas partes, enquanto Bissel (1999, 48) afirma que “todas as evidências sugerem que muito do que atualmente ensinamos é precariamente compreendido por muitos de nossos alunos e de pouco valor a eles mais tarde”. Essas opiniões refletem de forma inconsciente a angústia da comunidade em relação às carências na formação metafísica, que sustentaria a apreensão individual (pedagogia) da epistemologia do controle. Apesar disso, a falta de modelos racionais dificulta o estudo desta realidade pedagógica por especialistas, que já têm o raciocínio metafísico como trivial (Rodrigues, 2002a).

Uma saída para a construção de uma melhor formação metafísica é sua ação já em estágios anteriores à engenharia, no ensino fundamental ou secundário. Contudo, tal opção requereria uma subversão na realidade pedagógica desses níveis, cuja massificação tem gerado dificuldades de raciocínio lógico que afetam a qualidade da formação universitária (Bermudez, 1999, p. 69). Seria necessária, pois, a aplicação de elevados esforços pedagógicos na criação de novos espaços contrapostos aos já colocados, com resultados incertos. Bernstein (2002), por exemplo, apresenta uma metodologia para a introdução, no nível fundamental, de conceitos em controle. Entretanto, o diálogo proposto impõe restrições epistemológicas, como a introdução reducionista e cognitivamente bloqueadora do conceito de sistema, abordado como uma simples caixa preta com entradas e saídas, em um mero passo intermediário para a compreensão do controle clássico. Altera-se assim o componente curricular do ensino básico, mas não a ênfase epistemológica, com uma lógica cognitiva ainda estritamente analítica. É, pois, mais prudente manter-se o *status quo* da formação prévia, para buscar na graduação, de modo consistente, uma formação epistemologicamente conexa a objetos pedagógicos não clássicos, como é o caso exemplar do controle em seu curso de engenharia.

Outra opção a ser implementada anteriormente ao curso de engenharia de controle seriam mecanismos de seleção que valorizassem o conhecimento abstrato. Essa

possibilidade se descortina através dos processos seletivos vocacionados, que objetivam direcionar a seleção de ingressos a cursos com especificidades relevantes, exatamente o caso da engenharia de controle. No entanto, é evidente que não é o direcionamento no processo de seleção que irá garantir a qualidade posterior na formação de determinado curso. Adotar esta hipótese seria reconhecer que o curso em pouco interfere em uma formação que é de sua responsabilidade, embora não adequadamente praticada no caso da formação metafísica.

Deve-se pois abordar as questões pedagógicas aqui tratadas para definir princípios de uma adequada formação metafísica para a engenharia de controle, com bases racionais mínimas que amparem conhecimentos científicos e tecnológicos particulares, a partir de qualquer perfil discente, mesmo com alunos já lapidados por uma formação diversa. Para sustentar este processo, está definitivamente faltando um modelo pedagógico específico que propicie estratégias globais propícias de ensino para o curso. A questão que permanece então é como qualificar minimamente a formação metafísica na engenharia de controle?

O caminho dessa qualificação passa por uma formação metafísica que antecipe o roteiro clássico de formação ciência-tecnologia. Esta tarefa não é simples, pois este roteiro vem se consolidando a partir de sua exaustiva abordagem no debate relacionado ao ensino de engenharia em geral. Assim, a formação metafísica na engenharia de controle não tem sido muito diferente do que ocorre nas engenharias clássicas, com o conhecimento em controle seguindo-se a determinados fundamentos científicos historicamente demarcados, tendendo a permanecer em segundo plano, como eventual ferramenta para a abstração localizada desses conhecimentos científicos. Entretanto, conforme natureza do conhecimento em controle, a base metafísica racional deve ser construída a priori, e não em extensões metafísicas, como nas engenharias clássicas, ou somente no mercado de trabalho, sem quaisquer preocupações pedagógicas legítimas além do treinamento cognitivo em suas atividades próprias.

Assim, deve-se antecipar o ensino metafísico, deixando de ser protagonista o conhecimento científico (modelo histórico), para ser instrumental ao controle e à sua aplicação tecnológica, conforme modelo epistemológico. Além disso, deve ser mais bem trabalhada a apreensão semântica de suas bases lógico-matemáticas de sustentação, e o aprendizado por repetição e a síntese curricular por agregação devem ser superados. Enfim, deve-se diferenciar adequadamente as duas faces da metafísica, evitando-se confusões entre a metafísica técnica e a racional, esta baseada em sistemas lógico-matemáticos explícitos, e que é a base cognitiva para o especialista em controle em seu caminho rumo à tecnologia.

### 3.5 MODELO PEDAGÓGICO

Este capítulo realizou um estudo sobre a formação em engenharia de controle no Brasil, considerando aspectos históricos e curriculares, bem como repercutindo, sobre a realidade modelada, o modelo epistemológico do capítulo anterior. Desse estudo, cabe destacar questões relacionadas à ineficiência do desenvolvimento histórico, à formação metafísica e ao reducionismo do tratamento da questão curricular que, dentre outras inúmeras, demonstram a necessidade da introdução de um modelo pedagógico que ampare um projeto pedagógico específico para o curso. Nesta direção, e com base neste estudo e no modelo epistemológico do capítulo anterior, são apresentadas a seguir as hipóteses pedagógicas que caracterizam o modelo pedagógico desta tese para a engenharia de controle.

#### 3.5.1 Hipóteses Pedagógicas Gerais

**Hipótese 1:** *A aprendizagem é um processo interno que decorre do diálogo entre o indivíduo e o meio.*

A aprendizagem ou processo cognitivo (de conhecer) é o processo interno de desenvolvimento da cognição individual, decorrendo do relacionamento desta cognição consigo mesma e com o meio. Tem como resultado a própria cognição, ou simplesmente conhecimento individual, conforme detalhado no Anexo A.6.

**Hipótese 2:** *As concepções prévias do indivíduo interferem no aprendizado.*

O aprendizado é moldado segundo uma dialética entre a cognição individual e as antíteses provocadas pela relação dela com o meio, de modo que a cognição é a base para o aprendizado, servindo o meio como fonte de estímulos a seu desenvolvimento. Assim sendo, todo componente cognitivo do indivíduo, denominado pedagogicamente de concepção prévia, tem implicação sobre a aprendizagem, em grau naturalmente maior que o meio. Esta condição pode ser diminuída no ensino, mas não eliminada, ficando sua influência na aprendizagem.

**Hipótese 3:** *O ensino é o condutor consciente do diálogo de aprendizagem.*

Se a aprendizagem é um processo interno de desenvolvimento cognitivo, o ensino é um processo externo proporcionado, portanto, pelo meio, e que objetiva conduzir a dialética de aprendizagem para o alcance de determinadas metas cognitivas, em uma espécie de processo de controle. O ensino envolve pois a sistematização da relação entre indivíduos e meio, impondo algum grau de padronização à aprendizagem a partir de modelos, métodos e

técnicas pedagógicas, explícitos ou não. Para ser efetivo, deve estar consciente de suas metas (objetos), dos meios para levar a aprendizagem a elas (metodologia e técnicas), do contexto de aprendizagem (modelo) e da autonomia da cognição (sujeito). Tal consciência passa também pela interpretação dos resultados de aprendizagem em uma perspectiva de controle desta, onde essa realimentação promove resultados de aprendizagem nos próprios agentes de ensino, cujas cognições se modificam através das experiências de ensino ou pedagógicas.

**Hipótese 4:** *O ensino e a aprendizagem envolvem esforço cognitivo.*

Os processos de ensino e aprendizagem envolvem esforço para a maturação da cognição, com a consolidação de suas estruturas plásticas. Não há aprendizado instantâneo, podendo haver, no máximo, a memorização temporária de alguns dados com a posterior apreensão a partir de esforço cognitivo interno, sem que ocorra efetivamente o ensino.

**Hipótese 5:** *O ensino formal ou escolar está focado na formação intelectual.*

O ensino pode, na sistematização da aprendizagem, envolver formação social, cultural e intelectual, em contraponto às bases instintivas do indivíduo (que se tornam sócio-culturais ou comportamentais com o ensino). Neste contexto, o ensino formal ou escolar está voltado para a formação intelectual ou objetiva, com o desenvolvimento programado da intelectualidade individual, embora condicionantes sócio-culturais estejam implícitos nos métodos e técnicas aplicados, podendo eventualmente compor explicitamente as metas pedagógicas, como no caso da formação profissional abordada no quinto capítulo.

**Hipótese 6:** *A intuição complementa a razão no ensino intelectual.*

A formação intelectual não depende apenas do ensino, mas também do respectivo diálogo de aprendizagem, onde a cognição busca a apreensão da intelectualidade proposta pelo ensino. Nesse processo de adaptação cognitiva, as informações são integradas de forma consciente ou não às concepções prévias. Toda e qualquer integração intelectual inconsciente no processo de aprendizagem é denominada de *razão inconsciente* ou *intuição* (difere de instinto), enquanto a integração consciente é denominada de *razão consciente* ou simplesmente *razão*. A intuição é, portanto, o amálgama que preenche as lacunas da razão na formação intelectual, inclusive substituindo-a a partir das imperfeições do processo de ensino, que apresenta metas intuitivas e racionais. Na prática, a substituição das metas pedagógicas racionais pelo aprendizado intuitivo, que deve ser minimizada, sempre acaba ocorrendo em alguma extensão, decorrendo do grau de sintonia entre o processo de ensino e as cognições individuais. Esta sintonia, por sua vez, depende do respeito às concepções prévias dos alunos

e à maturação necessária de suas cognições. Cabe pois aos esforços cognitivos e mesmo epistemológicos do processo de ensino procurar minimizar este efeito de substituição que, além de prejudicar o respectivo aprendizado, irá dificultar resultados pedagógicos posteriores.

**Hipótese 7:** *O aprendizado pode produzir bloqueios cognitivos.*

O processo cognitivo pode apresentar concepções prévias que inibem determinadas instâncias do diálogo de aprendizagem, sendo então denominadas de bloqueios cognitivos. Estes bloqueios podem ser de origem inata ou terem sido gerados em estágios anteriores de aprendizagem. A intuição que substitui o espaço próprio da razão, sendo então denominada de *senso-comum*, é o bloqueio cognitivo mais relevante à formação intelectual.

**Hipótese 8:** *O ensino formal pode produzir bloqueios epistemológicos.*

Quando os bloqueios cognitivos decorrem diretamente do ensino formal, e não de particularidades dos processos individuais de aprendizagem, são denominados de bloqueios epistemológicos. Estes bloqueios resultam normalmente de incorreções nas definições coletivas de aprendizagem propostas pelo processo de ensino. A necessidade coletiva da repetição é sinal claro da presença de bloqueios epistemológicos, posto que noções de *senso-comum* devem ter sido geradas e/ou cristalizadas em estágios anteriores de ensino.

**Hipótese 9:** *O ensino deve considerar as concepções prévias dos indivíduos.*

O ensino deve considerar as concepções prévias em seu planejamento e em sua prática, mesmo porque são estas concepções que sustentam a aprendizagem. O tratamento pedagógico dado às concepções prévias ocorre positivamente ou negativamente. Ele é positivo ao aproveitá-las, inclusive o *senso-comum*, como anteparos cognitivos de recepção e adaptação das novas informações recebidas; como no caso da aplicação de mecanismos conhecidos de controle para a introdução do conceito de realimentação. Torna-se negativo ao enfrentar bloqueios cognitivos e epistemológicos, devendo contorná-los antes do aprendizado propriamente dito. A desconsideração destes bloqueios tende a reforçá-los ainda mais, pois as novas informações pedagógicas tendem a ser cognitivamente estruturadas a partir deles.

**Hipótese 10:** *A ação do meio sobre o indivíduo é cada vez mais intensa.*

Um fator contemporâneo que deve ser considerado pelos esforços de ensino é, além das concepções prévias, o aumento continuado na diversidade e na intensidade das influências do meio sobre os indivíduos, que tende a reduzir os esforços de aprendizagem vinculados a processos de ensino formal, além de tornar mais complexas as próprias

concepções prévias individuais. As ineficiências do processo de ensino tendem a ser, assim, ressaltadas, com a amplificação das correspondentes falhas de aprendizagem.

**Hipótese 11:** *A tecnologia da informação é um meio.*

Os processos de ensino e aprendizagem são processos cognitivos que exigem esforço e onde o primeiro busca a condução do segundo para a apreensão de determinados conhecimentos. Nesse contexto, a tecnologia da informação surge como relevante ferramenta de ensino, podendo aumentar a eficácia dos esforços cognitivos de ensino e do correspondente diálogo de aprendizagem. Não se pode, contudo, confundir o papel secundário dessa tecnologia; aplicando-a como substituta do processo de ensino, o que eliminaria ou ao menos diminuiria a realimentação necessária ao diálogo de ensino e aprendizagem, prejudicando o contato pedagógico entre as intuições individuais. O ensino envolve a busca de certa padronização da aprendizagem, mas não sua execução seriada. Em termos de aprendizagem, a tecnologia da informação pode suprir informações, ou seja, dados cuja interpretação já fora ensinada e, espera-se, aprendida, servindo de referência complementar à cognição individual.

### 3.5.2 Ensino de Engenharia

**Hipótese 12:** *O ensino de engenharia objetiva a tecnologia aplicada e suas bases racionais para a resolução de problemas de engenharia.*

Diferentemente de outros níveis de ensino formal, como o técnico e o superior tecnológico, a engenharia não objetiva apenas o ensino da tecnologia, mas também de suas bases racionais, especificamente a ciência e a metafísica, no aprofundamento do potencial de resolução de problemas de engenharia de seus egressos. O ensino das bases racionais não é assim o objetivo dos outros níveis de formação tecnológica e nem do mercado de trabalho, voltados à aplicação imediata da tecnologia. Já em relação à pós-graduação, ocorre o oposto, com ênfase quase que exclusiva nessas bases e algum esforço no desenvolvimento de técnicas que eventualmente as substituirão. Assim, apenas na engenharia ocorre a necessidade de um ensino que proporcione de forma equilibrada o aprendizado da tecnologia e de suas bases racionais, em um contexto pedagógica e epistemologicamente mais complexo que os outros níveis, com a busca de profissionais capazes de resolverem problemas de engenharia.

**Hipótese 13:** *O pragmatismo é a ideologia da engenharia.*

Embora com uma carga intelectual a ser ensinada, a engenharia é fortemente influenciada pelo ideal pragmático, onde o conhecimento seja avaliado por sua utilidade, pelo

seu potencial de aplicação. para a resolução de problemas de engenharia. Esta ênfase condiciona sua comunidade à busca do sensível e do aplicado para a justificação do conhecimento, com certa dificuldade nos diálogos epistemológico, pedagógico e metafísico.

**Hipótese 14:** *O conhecimento compartimentalizado em núcleos ciência-tecnologia é o paradigma epistemológico da engenharia.*

O pragmatismo da engenharia, aliado ao modelo epistemológico cartesiano, promoveu seu desenvolvimento na forma de especialidades, cada qual relacionada à utilidade de determinado segmento do conhecimento científico aplicado. Assim, a agregação das diferentes especialidades de engenharia proporcionaria a utilidade máxima da tecnologia.

**Hipótese 15:** *O conhecimento metafísico origina as engenharias de sistemas.*

A emergência do conhecimento metafísico, que dialoga com a realidade em um maior nível de abstração, tem promovido o surgimento de engenharias racionalmente baseadas na metafísica. Estas engenharias são denominadas de engenharias de sistemas e envolvem uma realidade epistemológica diversa da realidade proporcionada pelas engenharias clássicas, aquelas baseadas na ciência e em seus processos particulares.

**Hipótese 16:** *O paradigma epistemológico da engenharia acarreta bloqueios às engenharias de sistemas.*

Nas engenharias de sistemas, a realidade é tratada integralmente, não havendo dissecação prévia, como ocorre nas engenharias clássicas. A realidade não compõe a teoria, mas se encaixa a esta na justificação concreta e na aplicação de seus conhecimentos. A fragmentação do conhecimento surge então como bloqueio cognitivo à aprendizagem da metafísica, tornando-se epistemológico na medida em que as engenharias de sistemas são moldadas segundo o paradigma clássico, com a ênfase no conhecimento fragmentado a priori.

### 3.5.3 Realidade do Ensino de Engenharia de Controle

**Hipótese 17:** *A engenharia de controle é o caso típico de engenharia de sistemas.*

A engenharia de controle contém a própria essência da união da metafísica à tecnologia, pois, permite, através das teorias metafísicas de controle, que a ação do homem sobre a realidade, através da tecnologia, seja generalizada e abstraída de suas ciências particulares. Esta engenharia serve, pois, de caso típico de engenharia sistêmica.

**Hipótese 18:** *É aplicada à engenharia de controle a mesma linha epistemológica das engenharias clássicas.*

A falta de um modelo epistemológico próprio para a engenharia de controle acarreta a manutenção dos mesmos princípios pedagógicos das engenharias clássicas, que não necessariamente apresentam respaldo em modelos pedagógicos ou mesmo em hipóteses pedagógicas elementares, sendo frutos de uma lapidação histórica empírica. Deste modo, o conhecimento pertinente à engenharia de controle é forçado a encaixar-se em estruturas de ensino que não lhe pertencem e que nem ao menos são necessariamente pedagógicas, gerando confusões epistemológicas que tendem a se transformar em bloqueios epistemológicos.

**Hipótese 19:** *A confusão de ciência e metafísica produz bloqueios epistemológicos.*

O curso de engenharia de controle objetiva a formação em sua dinâmica epistemológica, que consiste na apreensão metafísica da realidade, no tratamento metafísico e na sua prática tecnológica (especialmente a automação). Os demais conhecimentos, inclusive o científico, servem tão somente para catalisar e complementar essa formação. Entretanto, o método pedagógico importado das engenharias clássicas impõe que bases científicas sejam ensinadas anteriormente às metafísicas, de forma semelhante ao que ocorre nas engenharias clássicas com alguma ênfase metafísica (engenharia de produção, engenharia elétrica com ênfase em automação, engenharia mecânica com ênfase em mecatrônica, engenharia química com ênfase em controle de processos etc.). Esta condição gera bloqueios epistemológicos com a percepção de um controle instrumental, que se torna mera ferramenta de processamento de sinais das ciências particulares. O conhecimento em controle é uma alternativa independente de abstração, onde é necessário um conhecimento mínimo relacionado ao suporte material e à interface lógico-matemática com cada ciência particular, devendo seu engenheiro ser capaz de dialogar com áreas externas à formação. Infelizmente, a confusão entre ciência e metafísica ofusca tal condição, restringindo o conhecimento em controle a classes de processos previamente conhecidas, em contraposição à sua natureza metafísica.

**Hipótese 20:** *A confusão entre teoria de controle e controle experimental produz bloqueios epistemológicos.*

Nas engenharias clássicas, além do ensino a partir dos detalhes, tem-se o uso de estudos de caso experimentais como introdução à teoria. No caso do conhecimento científico, é simples a relação entre dados empíricos e teoria, diretamente ligada ao fenômeno. Para o conhecimento em controle, por sua vez, os resultados relevantes para a teoria não são apenas os dados empíricos, mas principalmente os modelos do concreto adotados e a lógica

aplicada ao controle. Os fenômenos decorrentes de sistemas de controle não conduzem ao desenvolvimento teórico como no conhecimento científico, mas se limitam à justificação das teorias (controle experimental). Assim, o uso do controle experimental como passo para o aprendizado da teoria de controle, transcendendo a motivação preliminar, leva à aplicação do controle sem o amadurecimento teórico, com uma inversão epistemológica baseada em alternativas intuitivas localizadas. Essa tendência é reforçada pelo apoio em teorias científicas particulares e pelo menor esforço cognitivo exigido na aplicação direta do controle (inclusive docente), com uma metafísica aplicada intrinsecamente ligada a técnicas computacionais e de simulação, mais atraentes às cognições individuais. Neste contexto, a formação metafísica em controle pode ser apreendida como apêndice do controle experimental e/ou aplicado, podendo ser menosprezada no arcabouço conceitual do futuro engenheiro, que se limitará à adaptação de seus problemas de controle aos casos concretos que balizaram sua formação.

**Hipótese 21:** *A não distinção entre controle experimental e aplicado inibe a percepção do papel do primeiro.*

A introdução ao controle experimental sem a devida maturação cognitiva reforça os aspectos aplicados do controle. Esse “controle aplicado”, por sua vez, tende a ser utilizado como motivação para o posterior aprendizado da metafísica de sustentação, podendo bloquear esta formação. Neste contexto, a obscuridade epistemológica entre controle aplicado e experimental pode confundi-los, reforçando-se a aplicação técnica do controle, com o enfraquecimento dos aspectos metafísicos, necessários para a distinção epistemológica entre controle experimental e aplicado. Assim, emerge a tendência para o aprendizado de um controle empírico e/ou baseado na adaptação de casos padrão do controle aplicado, esvaziando-se o espaço que deveria ser destinado à justificação concreta do conhecimento em controle, dificultando a aproximação entre este conhecimento e a complexa realidade.

**Hipótese 22:** *As teorias metafísicas tendem a ser esvaziadas.*

A utilização de uma pedagogia evoluída de engenharias clássicas provoca bloqueios epistemológicos que promoverão o aprendizado do conhecimento em controle apoiado em ciências particulares e em exemplares aplicados. Gera-se, assim, uma substituição cognitiva da formação metafísica pelo aprendizado de alguma “experiência em controle”, reforçada pelo excesso de repetições da teoria, com algum efeito osmótico em uma aprendizagem essencialmente intuitiva. O pensar metafísico tende a um complexo de pensares concretos agregados, baseados ora em ciências particulares (mecânica e química, por exemplo), ora em tecnologias particulares (sistemas pneumáticos e hidráulicos, por exemplo),

ao invés de ser uma síntese teórica que efetivamente abstraia os níveis científico e tecnológico da realidade. O controle aplicado e as técnicas elementares de controle acabam ocupando o espaço cognitivo que seria destinado às teorias metafísicas na intenção de que estas sejam construídas sobre eles. Isto se mostra inviável na medida em que novas aplicações de outras aplicações e técnicas são ensinadas gerando-se um círculo epistemológico vicioso que limitará a aprendizagem metafísica, a qual não ocorrerá espontaneamente, mas precisa ser ensinada. Em todo este processo pedagógico distorcido, forma-se um relevante senso-comum da metafísica em detrimento da formação efetiva em suas teorias, que são esvaziadas, pois sua força depende muito de sua comensurabilidade horizontal (entre si).

### 3.5.4 Princípios para o Ensino de Engenharia de Controle

**Hipótese 23:** *É necessária a definição de princípios para uma pedagogia própria para a Engenharia de Controle.*

Se o método pedagógico implícito às engenharias clássicas não atende à epistemologia da engenharia de controle, então se devem buscar alternativas lastreadas em um modelo pedagógico próprio para o curso. Este modelo, por sua vez, deve atender princípios pedagógicos básicos para uma aprendizagem mínima em controle e em sua engenharia. Do modelo epistemológico e das hipóteses pedagógicas supra, surgem os seguintes princípios essenciais à formação em engenharia de controle: i) quebra do paradigma epistemológico clássico; ii) aplicação de modelo epistemológico próprio; iii) fortalecimento consistente das linguagens de representação e interpretação racionais do controle (lógica e matemática); iv) instrumentalização do conhecimento científico; v) complementação pedagógica das teorias metafísicas através do controle experimental; vi) formação tecnológica baseada no controle aplicado autônomo; vii) abordagem epistemológica/pedagógica “*top-down*”.

**Hipótese 24:** *O ensino em controle não deve ser fragmentário.*

A fragmentação do conhecimento é inerente à epistemologia cartesiana, onde o conhecimento é formado a partir dos mínimos detalhes da realidade, que em última instância se sustenta no célebre “penso; logo existo”. Embora a concepção cartesiana de uma realidade racional (realismo metafísico) já se tenha modificado para uma apreensão racional da mesma, sua epistemologia persiste através das especializações do conhecimento que surgiram a partir dela e que foram reforçadas pelo positivismo, tendendo a ser minimizada com a unificação de teorias científicas e a difusão de teorias metafísicas. A pedagogia, ao refletir a epistemologia com alguma inércia, visto que trata de conhecimentos consolidados, continua lastreada na

fragmentação, que se mantém central no equacionamento do processo pedagógico formal, geralmente focado na definição de fragmentos curriculares estanques. Esta tendência atingiu seu ápice com os departamentos acadêmicos, responsáveis por conjuntos independentes de disciplinas cujos sucessos particulares de aprendizagem iriam automaticamente produzir o sucesso geral. Mesmo nas engenharias clássicas, tem-se obtido resultados questionáveis, que tendem a ser ainda piores no controle, devido a seu maior grau de abstração. A formação em controle deve minimizar essa fragmentação do conhecimento, baseando um ensino integrado a partir da essência do conhecimento em controle e em sua relação com a realidade, mediada pelas teorias do concreto e pelo controle experimental/aplicado. Considere-se, por exemplo, a dificuldade do método analítico, nuclear na epistemologia cartesiana, no ensino do conceito da *realimentação*, que surge tímida no controle clássico como “*realimentação negativa em malha única*”, criando-se um bloqueio para um entendimento mais amplo, e que dificultará sua percepção em formas mais elaboradas de controle, como o supervisão.

**Hipótese 25:** *O modelo epistemológico deve ser evidenciado.*

As engenharias clássicas têm o conhecimento distribuído entre alguma ciência particular e a respectiva aplicação tecnológica, possibilitando a carência no debate epistemológico sem maiores efeitos pedagógicos colaterais. Já a engenharia de controle, ao basear-se em um segundo nível de abstração, impõe elementos epistemológicos adicionais, a metafísica e os controles experimental/aplicado, introduzindo relações até então inéditas na engenharia e que têm sido indevidamente anexadas à relação anterior. Isto se deve à falta de um modelo epistemológico que relacione os núcleos de conhecimento que compõem o controle e sua aplicação tecnológica. Deve-se pois assumir estes diversos aspectos coletivos do conhecimento em controle como condição para a sistematização dos aspectos individuais, no ensino, escapando-se da mera imitação histórica. Dessa compreensão deve resultar o planejamento pedagógico das diversas classes epistemológicas, minimizando-se o surgimento de bloqueios e favorecendo-se a aprendizagem na engenharia de controle.

**Hipótese 26:** *A ontologia sistêmica precisa ser ensinada.*

Da fragmentação do conhecimento decorre o isolamento dos fragmentos, cujos fenômenos são preservados em dialetos próprios nem sempre comensuráveis. Simplifica-se, deste modo, a realidade do inter-relacionamento dos diversos fragmentos que a representam, partindo-se da premissa do todo como agregação das partes, sendo todo e qualquer efeito adicional tratado como complexidade, que é preliminarmente excluída da síntese racional. Este ainda é o paradigma do ensino e que configura bloqueio epistemológico na engenharia de

controle ao ter moldado a formação prévia dos alunos ingressos. Seu enfraquecimento é fator relevante para a construção do pensar sistêmico próprio do engenheiro de controle. Para tanto, deve-se evidenciar não apenas os fragmentos isolados, mas principalmente sua composição sistêmica, a partir das noções de sistema, suas propriedades e subsistemas, com características que transcendem os fragmentos isolados e podem tanto possibilitar quanto limitar o controle, além de serem essenciais à integração do conhecimento em controle em diferentes níveis (de processos e supervisorio, por exemplo). O aluno deve compreender que qualquer coisa é de algum modo um sistema, e que este não se resume a uma caixa preta com entradas, saídas e uma lógica linear, conforme geralmente introduzido no controle clássico. Ter-se-á, assim, uma perspectiva ontológica consistente para o conhecimento em controle que possibilitará sua incursão em qualquer área particular, independentemente da especialização nela, bastando a pesquisa na respectiva interface metafísica, fonte de sistematização para o controle.

**Hipótese 27:** *O ensino de matemática deve ser reformulado.*

A fragmentação do conhecimento ocasionou um grave efeito na engenharia de controle: a formação matemática dissociada da representação e da interpretação da realidade através da semântica metafísica. Neste processo, por mais qualificado e completo que seja o ensino em matemática, a carência semântica irá torná-la um fim em si mesma, deflagrando bloqueios que se refletirão na aprendizagem metafísica, com a ênfase em casos padronizadas, incoerentes com a versatilidade necessária ao controle, ou em alternativas computacionais técnicas. Deve-se aproximar a formação matemática de seu papel como linguagem metafísica da engenharia de controle, evitando-se a ênfase prévia limitada como simples ferramenta de teorias do concreto, pois a matemática deve sustentar juntamente com a lógica a integração e a generalização necessárias ao diálogo racional metafísico próprio da engenharia de controle.

**Hipótese 28:** *A lógica deve ser abstraída da informática e integrada à matemática.*

A lógica complementa qualitativamente o apoio quantitativo da matemática à metafísica, sendo ainda essencial na corroboração racional de teorias de controle. Nos últimos anos foi popularizada através da informática, tendo importantes desenvolvimentos racionais a partir da ciência da informação. Entretanto, a crescente valorização da computação aplicada tende a ocultar estes avanços, que ficam isolados em suas áreas específicas de conhecimento ou concentrados em cursos superiores de informática. Na engenharia de controle, certas bases lógicas, como os autômatos, as Redes de Petri, alguns algoritmos de programação, os sistemas especialistas e a lógica nebulosa, até costumam estar presentes na formação, mas com ênfase estrita e temporalmente limitada, facilmente levando à apreensão técnica e à confusão com as

tecnologias da informação, ofuscando, deste modo, a apreensão da semântica metafísica, que dependeria de uma melhor integração ao restante do conhecimento em controle. Deve-se, portanto, abstrair as lógicas das tecnologias da informação e da aplicação técnica, permitindo uma melhor integração delas entre si e com a matemática através da representação e da interpretação de sistemas de controle.

**Hipótese 29:** *Deve-se caracterizar a interface com ciências particulares.*

Não cabe ao controle a resolução específica de campos magnéticos, resistência de materiais, órbitas estelares, reações químicas ou de quaisquer outros fenômenos tratados por ciências particulares. Por outro lado, são essas ciências particulares, através de sistemas lógico-matemáticos representativos dos fenômenos concretos, que irão intermediar o diálogo entre controle e realidade, a partir de modelos e teorias que constituem a interface necessária entre as ciências particulares e o controle. Neste processo, o engenheiro de controle deve ser capaz de aprender a interface metafísica com qualquer ciência particular, mesmo sem dominar os respectivos elementos da realidade, não tendo a pretensão de substituir os engenheiros clássicos, estes sim vinculados a ciências particulares. Infelizmente, a inversão epistemológica aplicada ao ensino de engenharia em controle, onde determinadas ciências particulares são previamente enfatizadas, faz com que o conhecimento em controle seja apreendido a partir destas, bloqueando a posterior extensão a outras realidades concretas. Deve-se pois restringir o ensino de ciências particulares a suas interfaces com o conhecimento em controle, cuja natureza já deve ter sido apreendida. Mesmo no caso específico do suporte material, o engenheiro de controle não precisará dominar todos os elementos do concreto envolvidos, pois terá o apoio de engenheiros das áreas particulares envolvidas ou poderá apoiar-se em componentes comerciais de controle. Seu enfoque estará direcionado para a garantia das relações de controle no projeto e para a posterior integração dos sistemas de controle.

**Hipótese 30:** *O controle experimental deve ser utilizado como tal.*

Conforme o modelo epistemológico do capítulo anterior, o controle experimental permite, através de técnicas de aplicação e do suporte material necessário, a verificação da relação das teorias de controle com a realidade, ressaltando eventuais limitações na apreensão do concreto a partir das interfaces de ciências particulares. Na medida em que a repetição simulada de resultados analíticos substitui resultados experimentais, deixa de haver o controle experimental, em prol de uma repetição computacional em uma metafísica aplicada que terá pouco a acrescentar, porque será pedagogicamente tão irretocável quanto possível, com hipóteses de representação e interpretação normalmente já previamente

verificadas. Este controle experimental “virtual” costuma ser visto como suficiente, devido à confusão epistemológica entre realidade e modelo (realismo metafísico), sendo pedagogicamente desprezados os efeitos da complexidade sobre o controle, o que por si só justifica um isolamento excessivo entre teoria e prática, pois a crescente escala dos sistemas torna-os cada vez mais sensíveis às suas complexidades. Não se deve tratar como controle experimental a demonstração de conhecimento de controle em tese, que deve ser baseada nos elementos lógico-matemáticos de sustentação. Deve-se sim verificar experimentalmente as teorias já comprovadas analiticamente, justificando-as na realidade, e deve-se buscar as deficiências herdadas das ciências particulares, procurando aprimoramentos metafísicos que as anulem (o controle robusto é um exemplo evidente desta tarefa). Enfim, o controle experimental, que requer a utilização de casos concretos e não de simulações de imitação analítica, é essencial no amadurecimento epistemológico em controle, especialmente na engenharia, que busca o domínio da aplicabilidade de suas bases racionais.

**Hipótese 31:** *Os alunos devem aplicar o controle.*

Se o controle experimental envolve a justificação concreta das teorias e a percepção de deficiências inerentes aos modelos do concreto, é o controle aplicado que irá consolidar a formação profissional decorrente dos conhecimentos teóricos e experimentais em controle. É aí que o aluno se mostrará engenheiro de controle, devendo demonstrar condições efetivas para a resolução de problemas de controle. Para tanto, deve ter condições para buscar livremente em seu sistema cognitivo, os elementos que julgar necessários para a síntese de projetos que demonstrem seu potencial profissional e seu domínio das bases intelectuais do controle. O controle aplicado consiste em especial realimentação ao ensino, possibilitando a observação sistêmica de focos do conhecimento em controle que se reflitam em deficiências de aprendizagem, que são decorrentes de bloqueios epistemológicos ou mesmo cognitivos que precisam ser tratados para a evolução positiva da dialética pedagógica.

**Hipótese 32:** *O conhecimento deve ser abordado do conjunto para os detalhes.*

As hipóteses acima demonstram, a partir das peculiaridades do conhecimento em controle e das carências de um modelo pedagógico historicamente construído e herdado, a necessidade da mudança da perspectiva pedagógica destinada a um curso como a engenharia de controle. Para o planejamento de métodos pedagógicos e para a execução de técnicas de ensino próprios para a engenharia de controle deve-se ter um eixo filosófico que seja coerente com a natureza metafísica das bases racionais dessa engenharia, bem como proporcione o espaço necessário para a concretização das rupturas indicadas, possibilitando o enfrentamento

dos diversos bloqueios epistemológicos atualmente estruturais à engenharia de controle. Esse eixo pode ser resumido na inversão da lógica do diálogo epistemológico/pedagógico, conforme já introduzido nas hipóteses 24 e 26, de uma abordagem cartesiana (“*bottom-up*”) para uma abordagem sistêmica (“*top-down*”), onde o conhecimento em controle seja abordado a partir de seus aspectos gerais em direção aos detalhes, em flagrante contraste com o que vem ocorrendo, onde o detalhamento prévio das ciências particulares e a formação geral da engenharia acabam impondo bloqueios epistemológicos à posterior formação metafísica. A partir dessa mudança essencial de paradigma epistemológico (ver hipóteses 14, 16 e 18), decorre todo o modelo pedagógico até aqui definido. Uma abordagem “*top-down*” para a formação é corroborada pelo modelo epistemológico, onde uma formação metafísica consistente depende da real percepção da sua natureza, generalista e sistêmica, minimizando-se as perturbações de outras classes epistemológicas (hipóteses 19, 20 e 22), de modo que uma formação geral em controle deve anteceder o detalhamento, que deve ser gradual e claramente posicionar as diversas classes epistemológicas pertinentes, apoiando-se devidamente nelas e favorecendo a reconstrução epistemológica nas cognições individuais, que deverão pensar e engenheirar o controle (e não aplicar um agregado de técnicas de controle baseadas em teorias desconexas).

### 3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo realizou um estudo sobre a formação em engenharia de controle no Brasil baseando-se no modelo epistemológico do capítulo anterior, ao mesmo tempo em que procurou reverter noções indevidas decorrentes de um modelo histórico, e que não são perceptíveis a partir dos estudos da comunidade, essencialmente heurísticos e baseados em realidades onde a engenharia de controle surge como uma área de serviço para engenharias clássicas. Do estudo deste capítulo, que envolveu ainda a incursão na questão curricular e a análise de estruturas curriculares de referência, resultou um sistema de hipóteses pedagógicas que constituem o modelo pedagógico para a engenharia de controle.

Este modelo permite, juntamente como o modelo epistemológico do capítulo anterior, a racionalização de estratégias (métodos) pedagógicas específicas e mais adequadas para o conhecimento em controle em sua engenharia, na exata resposta à questão central desta tese, definida no capítulo introdutório. Assim, os dois modelos apóiam a definição e o ajuste de métodos (estratégias) de ensino específicos, os quais serão concretizados a partir de

técnicas aplicadas pelos professores, segundo sua experiência e sua habilidade pedagógica. Nesta direção, não se pretende impor um currículo e/ou uma metodologia acabados para a formação em engenharia de controle, mas proporcionar um sistema racional descritivo desta realidade que permita uma síntese curricular consistente, conforme quinto capítulo, que atenda à natureza epistemológica do conhecimento em controle e observe princípios pedagógicos próprios, ao mesmo tempo em que respeite as peculiaridades particulares de cada contexto de formação.

De qualquer modo, definiu-se com os dois modelos, pedagógico e epistemológico, um sistema filosófico próprio para a epistemologia e a pedagogia do conhecimento em controle que pode substituir sistemas intuitivos tacitamente incorporados de realidades adversas. A partir desta ruptura, essencial ao devido “engenheirar de controle”, é que poderão ser repensados os contextos de formação, minimizando-se os bloqueios epistemológicos em direção ao aprimoramento no desenvolvimento das cognições individuais em sua apreensão do controle e de sua principal aplicação, a automação.

Depois de promover a apreensão racional da realidade da engenharia de controle no Brasil, os próximos dois capítulos irão repercutir os modelos obtidos sobre a realidade modelada. Espera-se assim demonstrar a percepção da engenharia de controle no Brasil a partir do ponto de vista propiciado pelos modelos, bem como indicar pressupostos para sua aplicabilidade, através da análise de tópicos particulares da formação e de considerações relevantes sobre a síntese curricular e os métodos de ensino.

## 4 QUESTÕES TRANSVERSAIS

Nos dois capítulos anteriores, foram desenvolvidos estudos epistemológico e pedagógico, respectivamente, de onde emergiram modelos próprios para a engenharia de controle no Brasil. Esta tarefa foi executada a partir de uma linha geral de raciocínio que não se prendeu a detalhes específicos da realidade de formação, mas a questões fundamentais, inerentes à própria natureza do controle e a questões pedagógicas estruturais. Neste capítulo, por sua vez, os estudos são complementados com questões transversais à realidade global de formação, aprofundando aspectos particulares da realidade modelada ao mesmo tempo em que demonstrando a consistência com os próprios modelos.

As questões abordadas, que não apresentam uma ordem de precedência entre si, são as seguintes: a) senso-comum do controle como interdisciplinar; b) papel da tecnologia da informação; c) influência da pesquisa; d) papel dos laboratórios; e) contexto profissional; f) aspectos não técnicos de formação.

### 4.1 INTERDISCIPLINAR X SISTÊMICO

A fragmentação do conhecimento, embora chave para os progressos científico e tecnológico, impõe alguns efeitos colaterais nocivos, agravando, por exemplo, a distância entre diferentes áreas do conhecimento e dificultando a emergência de metodologias para as engenharias de sistemas. Essa fragmentação estrutural tem recebido críticas, como as do epistemólogo David Bohm, para quem os temas interdisciplinares, uma alternativa, “serviriam principalmente para acrescentar outros fragmentos separados” (Bohm, 1980, p. 19), com cada área protegendo sua soberania epistemológica em um diálogo de especialidades.

No caso do controle, interdisciplinar e multidisciplinar tornaram-se jargões recorrentes de justificação para o surgimento de sua engenharia. Masten (1995, p. 720), por

exemplo, refere-se à natureza multidisciplinar do controle, enquanto Djaferis (1999, p. 1267) afirma que o controle automático tem um papel fundamental na ciência e na engenharia por causa de sua universalidade e natureza interdisciplinar, fato amplamente reconhecido pela comunidade (idem). No entanto, conforme segundo capítulo, tal destaque não resulta da mera agregação de tecnologias em torno do problema de controle, com as áreas do conhecimento se mantendo soberanas em seus pólos ciência-tecnologia. Se assim fosse, o pretense diálogo interdisciplinar poderia ser realizado por equipes de engenharia compostas por profissionais ligados a cada pólo ciência-tecnologia específico, sendo alguma automação promovida pela extensão destes profissionais em algum tipo particular de controle; o que historicamente tem acontecido no desenvolvimento de complexos projetos em engenharia. Esta concepção conduziria o controle a um fictício reducionismo profissional, sendo seu engenheiro percebido como um simples gerente de tecnologias, e onde, conforme Murray et. al. (2003, p. 18), seria dificultado o desenvolvimento teórico.

A realidade epistemológica diferenciada do conhecimento em controle corrobora a carência por uma perspectiva diferenciada, conforme evidenciado nas hipóteses epistemológicas 3, 6 e 7, 11 a 13, e nas hipóteses pedagógicas 23 a 26. Nesta direção, o engenheiro de controle não deveria estar restrito à mera agregação de diferentes classes de processos com a simples aplicação de técnicas de projeto de controle e automação, mas deveria ser capaz de conduzir a integração racional de tecnologias. Assim, seu pensar abstrato aplicado à engenharia deveria permitir, conforme Ertas et. al. (2000, p. 2), a transcendência das fundações cartesianas e dos métodos das engenharias clássicas, facilitando a integração entre diferentes disciplinas. O engenheiro de controle disporia, neste contexto, de uma nova perspectiva de análise e síntese para a tecnologia, através do nível metafísico (hipóteses epistemológicas 1 e 2, e decorrentes), que não seria mais um fragmento separado, mas um meta-conhecimento de integração das ciências e das tecnologias particulares.

O engenheiro de controle não deve ser, pois, apenas um gerente de tecnologias que catalise o exercício profissional de engenharias particulares, pois deveria dispor de condições para operar uma racionalidade sistêmica das engenharias e de suas tecnologias particulares, através de uma nova perspectiva, a metafísica, que ultrapassa a mera aglutinação das partes para proporcionar um sistema unificado de análise e síntese, com o conhecimento sendo efetivamente abstraído das ciências particulares. Este deveria ser o real valor desse profissional, através do pleno aproveitamento do potencial oferecido pelo nível metafísico de racionalidade, apenas minimamente aproveitado no caso de conhecimentos limitados de controle e automação tipicamente abordados em cursos clássicos de engenharia.

Conclui-se, assim, que a valorização do interdisciplinar é limitada para motivar a engenharia de controle. É a abstração das ciências particulares e de suas tecnologias, na esfera metafísica, que devem justificar essa engenharia, com mais propriedade do que a defesa de profissionais interdisciplinares que decorre da carência de uma identidade epistemológica.

Os modelos desta tese ajustam tal realidade ao posicionarem a engenharia de controle, com princípios pedagógicos que poderão corrigir distorções históricas e valorizando seu diferencial epistemológico, em conhecimentos que definam um arcabouço consistente de abstração das tecnologias. Do contrário, não se terá uma noção clara do papel do engenheiro de controle, tratando-o como um agente subsidiário de agregação das outras engenharias.

## **4.2 O PAPEL DA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO**

A evolução da informática e dos meios de comunicação vêm promovendo um processo cumulativo de informações potenciais, aonde o acesso a dados vem simplificando-se exponencialmente na mesma medida em que cresce a relevância da capacidade de interpretá-los, na forma de informações. Tem-se assim a falsa impressão de que está muito mais fácil a “posse” do conhecimento, refletindo a confusão entre dados, informação e conhecimento. Os dados devem ser promovidos apenas quando os alunos puderem interpretá-los (informações), não sendo possível esperar o surgimento instantâneo de alguma capacidade de interpretação até então inexistente, conforme hipótese pedagógica 4. A saturação de estímulos, decorrente do excesso de dados, impõe novos requisitos de qualidade nos processos de formação, com um diálogo pedagógico mais claro e epistemologicamente melhor estruturado.

Neste contexto, a formação em engenharia de controle deve buscar o fortalecimento conceitual do aprendizado, com consolidação das bases epistemológicas do seu conhecimento. Esta é o principal objetivo do curso, e que definirá as restrições cognitivas para a futura interpretação e apreensão de dados, afetando a sensibilidade à obsolescência de tecnologias e a capacidade individual de “aprendizagem continuada” (ver Masten, 1995). A formação deve pois promover uma qualificação intelectual suficientemente ampla e abstrata que constitua uma base sólida mínima para a aquisição contínua e eficiente de conhecimentos específicos (Moraes, 1998, p. 4), evitando-se a armadilha de cursos que tenham uma ênfase estrita de profissionalização, hiperespecializada, mas precoce e apressada (idem).

Não se deve assim permitir uma inversão onde a tecnologia da informação ofusque temas essenciais, promovendo, por exemplo, a formação de usuários de simulação e

de programadores de técnicas de ajuste, controle e integração da manufatura. Infelizmente, a prática profissional recente tem enfatizado em demasia o papel da informática, aonde a facilidade e a rapidez das simulações do tipo tentativa e erro vem reduzindo a capacidade de análise crítica (Silva, 1999; Fogler, 1996). O papel da tecnologia da informação deve pois se limitar a aspectos instrumentais, tanto no desenvolvimento epistemológico quanto no pedagógico, conforme hipótese epistemológica 12 e hipóteses pedagógicas 11, 28 e 30.

Do ponto de vista epistemológico, as recentes tecnologias, com processadores mais velozes, estendem as fronteiras experimentais e aplicadas do controle, ampliando o diálogo entre suas teorias e a realidade, mas não são responsáveis pela interpretação das informações, que ocorre no âmbito metafísico a partir das linguagens da matemática e da lógica. Infelizmente, contudo, estas linguagens não costumam ser abstraídas da tecnologia da informação, dificultando a formação no conhecimento metafísico, que é ocultado em técnicas e mecanismos computacionais. Assim, muito do que é ensinado em metafísica tende a ser cognitivamente apreendido como tecnologia da informação, mesmo que o ensino conflua na direção da interpretação racional, enfraquecendo-se o eixo epistemológico do controle em prol do computacional. Como exemplos potenciais desta confusão entre linguagem metafísica e técnica computacional têm-se: a predição numérica de modelos; os autômatos e as Redes de Petri; os diagramas lógico-matemáticos, como o Lugar das Raízes e o Diagrama de Estados; a lógica *Fuzzy* de processamento de dados; os sistemas especialistas; as redes neurais etc. Estes exemplos apresentam um componente racional lógico-matemático de base e um componente técnico-computacional aplicado, sendo que uma formação limitada poderá priorizar o segundo em detrimento do primeiro, que deve ser resgatado pela formação, enfatizando-se as bases lógico-matemáticas que sustentam a metafísica aplicada na informática. Demonstrando a consistência desta percepção, Henderson (2002) ressalta a matemática discreta e sua lógica como fundamentos da engenharia de software e, portanto, da tecnologia da informação.

É pois inadequada a utilização indistinta de simuladores no ensino de conceitos de controle, que não seriam apreendidos em sua verdadeira natureza, mas se acorrentariam a casos simulados padronizados, como os clássicos tanque d'água e motor DC. Os simuladores têm papel central na introdução ao conhecimento em controle nas engenharias clássicas e cursos profissionalizantes, mas sua utilização deve ser criteriosa na engenharia de controle, evitando-se o aprendizado intuitivo, que irá limitar a aprendizagem de teorias de controle, especialmente aquelas não diretamente ligadas aos casos clássicos.

Do ponto de vista pedagógico, por sua vez, a influência da tecnologia da informação é evidente, mas de certo modo supervalorizada, conforme indica Owston (1997)

ao citar que nenhum efeito pedagógico consistente e significativo diretamente decorrente das tecnologias da informação foi demonstrado. De qualquer modo, todos os efeitos pedagógicos das tecnologias da informação devem ser avaliados, não apenas os positivos ou os aparentes.

Nas atividades elementares de ensino, têm-se os exemplos de Copinga et. al. (2000), que apresenta uma ferramenta de planejamento e gerenciamento; e Poindexter & Heck (1999), que descreve modos de aplicar a Internet na construção de aplicações educacionais. As tecnologias da informação permitem ainda canais de comunicação adicionais, onde listas de discussão e fóruns são exemplos clássicos. Nestes casos, pode ocorrer uma sobrecarga de atividades, com o desvio de esforços pedagógicos, geralmente escassos, para a manutenção de mecanismos computacionais. Outro fator relevante são as restrições desses mecanismos de comunicação, que praticamente eliminam o diálogo intuitivo entre as cognições individuais, o qual complementa o diálogo racional, inclusive na percepção das experiências docentes.

Em direção ao conhecimento em controle, as tecnologias da informação permitem a construção de laboratórios virtuais de controle, que são ambientes de simulação remota de modelos e sistemas de controle. Exemplos de laboratórios virtuais são apresentados por Johansson et. al. (1998), Wittenmark et. al. (1998) e Bequette et. al. (1999). Estes ambientes favorecem uma noção intuitiva de controle, adequada para cursos clássicos de engenharia; mas são limitados para sua engenharia, devendo-se restringir à complementação de um ensino racional consistente em direção ao controle experimental. A utilização distorcida de laboratórios virtuais, a partir dos experimentos e simulações virtuais, com ênfase na interface computacional em detrimento da realidade controlada, pode impor bloqueios cognitivos aos alunos de controle, com a confusão entre modelo e realidade.

A tecnologia da informação é relevante no ensino de controle, mas não é fundamental, pois apresenta influência apenas acessória em seu processo pedagógico, não se podendo, portanto, e apesar do modismo, centrar nela os esforços pedagógicos. Os modelos desta tese demonstram que eventuais expectativas seriam frustradas, por não estarem pautadas em temas estruturais de formação e mesmo prejudicarem as questões essenciais.

Por outro lado, a tecnologia da informação pode apoiar a consolidação das bases lógico-matemáticas ligadas ao controle. Mirotznik (1996), por exemplo, sintetiza programas computacionais para a formação matemática. A lógica, por sua vez, tem uma ligação íntima com a informática, tendo muitas de suas instâncias nela se originado, cabendo a devida definição dos papéis metafísicos e técnicos, com a precedência dos primeiros.

A tecnologia da informação também pode auxiliar o ensino regular fornecendo suporte para um melhor tratamento das informações pedagógicas e acadêmicas, devendo-se

preservar a autonomia dos professores na definição das técnicas de ensino. Já os alunos podem ter uma melhor visão do processo de ensino, propiciando um melhor gerenciamento de seu processo de aprendizagem. As relações pedagógicas podem ser mais bem definidas, com responsabilidades claras, evitando-se, contudo, novos ônus individuais. Estes princípios são indicados na abordagem à maturação do diálogo pedagógico, no próximo capítulo.

Enfim, a tecnologia da informação, por ser externa à relação pedagógica entre as cognições individuais e por tender a confundir a metafísica do controle com representações computacionais de apoio, não pode ser tratada como panacéia ou eixo pedagógico para a engenharia de controle, distorcendo os aspectos epistemológico e pedagógico de formação. A tecnologia da informação deve ser aplicada de forma instrumental a mudanças pedagógicas estratégicas, como as que podem decorrer dos modelos desta tese. A ineficácia nesta tarefa resultaria na mera modernização de técnicas de ensino, com a inibição do diálogo pedagógico, especialmente o intuitivo, onde surge a maioria dos bloqueios cognitivos e epistemológicos.

### **4.3 PESQUISA EM CONTROLE**

Já foi citada a origem histórica do conhecimento em controle a partir de suas instâncias de pós-graduação, que ainda apóiam disciplinas isoladas em engenharias clássicas. Resta agora verificar influências desta esfera sobre o ensino da engenharia de controle.

Em primeiro lugar, surge a pressão externa das avaliações institucionais, principalmente a partir de resultados objetivos de pesquisa, em detrimento dos pedagógicos, que são subjetivos e de difícil mensuração. Este modelo de avaliação é aplicado por órgãos financiadores na distribuição de recursos e pelas próprias instituições de ensino na avaliação dos professores, que geralmente também são pesquisadores. Assim, esta tarefa acaba se tornando preferencial em relação à de docente (Godoy, 1988), uma anomalia considerando-se que a qualidade da pesquisa depende diretamente da qualidade de seus recursos humanos, principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil. Tentativas de ajustamento, com alguma ênfase na avaliação pedagógica, vêm sendo realizadas em diferentes propostas, tais como o Exame Nacional de Cursos (“Provão” – [www.mec.gov.br/sesu/pes.shtm](http://www.mec.gov.br/sesu/pes.shtm)) e o Programa de Avaliação Institucional (PAIUB – [www.mec.gov.br/sesu/paiub.shtm](http://www.mec.gov.br/sesu/paiub.shtm)).

Outro aspecto é a formação dos professores, com forte ênfase na pesquisa em controle e pouca formação pedagógica e epistemológica, cuja carência se tenta suprir com os modelos desta tese. Conforme hipótese epistemológica 15, a pesquisa acaba priorizando o

controle experimental e o aplicado em detrimento da busca por avanços teóricos, com a representação e a interpretação de modelos racionais. É o caso, por exemplo, de Almeida (1999), onde as lógicas de controle nebulosa e preditiva de variância mínima foram agregadas para o aprimoramento no controle de um processo não linear específico (de luminosidade), verificando-se tão somente os resultados empíricos e não se promovendo a real análise dos fundamentos racionais da agregação realizada. Por outro lado, mesmo os avanços teóricos acabam sendo tratados de forma especializada, na busca de progressos pontuais, em repetição à tradicional especialização da pesquisa. Os professores são compelidos à manutenção de uma percepção especializada (fragmentária) do conhecimento, que não deveria se refletir no ensino, em uma contradição analisada em Leão (2001) ao repercutir os efeitos do pronunciado crescimento dos programas de pós-graduação sobre o ensino de engenharia. Além disso, a atual formação de muitos pesquisadores ocorreu nas engenharias clássicas, com a percepção instrumental do conhecimento em controle para problemas em classes particulares de processos. Reforça-se deste modo a influência do pesquisador para o educador.

Pouco se pode avançar na formação em controle se a comunidade não dispor de uma filosofia ligada ao seu conhecimento, sob pena de persistir a sujeição à tecnologia e à ciência. Os pesquisadores devem procurar eliminar vícios decorrentes da visão fragmentária e empírica das engenharias clássicas, bem como não devem evoluir tais vícios em direção a uma engenharia de controle heurística, e ainda alheia a sua natureza. Os modelos desta tese podem auxiliar nesta tarefa ao possibilitarem uma compreensão orgânica dos aspectos epistemológicos e pedagógicos relacionados, eliminando não apenas os bloqueios discentes, mas também dos pesquisadores da comunidade, que em geral também são os professores.

Após verificar a influência da pesquisa no ensino da engenharia de controle, cabe verificar a relação inversa, ou seja, do ensino sobre a pesquisa. Nesse aspecto, é evidente que a qualificação e a consolidação de uma massa pensante em controle e, portanto, em automação, que não esteja restrita a centros de pesquisa, mas alcance o setor produtivo, é passo essencial para a ruptura de nossa natureza importadora de tecnologias “caixa preta” e para o enfrentamento dos múltiplos desafios de pesquisa em controle, especialmente aqueles em novos domínios, descritos em Murray et. al. (2003). Como bem sintetiza Demo (1999, p. 36), “o mundo divide-se cada vez mais entre a parte que é capaz de produzir conhecimento próprio e a outra que o copia”, alienando-se (Freire, 1997). Ressalta-se, deste modo, um efeito social relevante da qualificação educacional, com a formação de profissionais que possam minar nossa histórica dependência em pesquisa, com o desenvolvimento de estratégias que melhorem o diálogo com os recursos disponíveis e com o estado da arte do conhecimento.

#### 4.4 LABORATÓRIO

Na engenharia de controle, o laboratório assume essencialmente a função da formação experimental e aplicada (hipóteses epistemológicas 12 a 16; hipóteses pedagógicas 30 e 31), em complemento à formação metafísica de sala de aula. Assim, tem duas posturas distintas: a corroboração experimental do conhecimento em controle, e sua aplicação, através basicamente da automação. Neste contexto, emergem duas modalidades de laboratório: de controle (controle experimental, hipótese epistemológica 12 e pedagógica 30) e de automação (controle aplicado, hipótese epistemológica 16 e pedagógica 31). O primeiro está voltado para a verificação experimental de conceitos lógico-matemáticos e técnicas do controle, enquanto o segundo busca a aplicação estruturada destes elementos em problemas de controle; ou seja, enquanto no laboratório de controle os aspectos teóricos a experimentar são previamente definidos, pois reside neles a necessidade de corroboração experimental, no laboratório de automação existe uma maior liberdade, devendo-se projetar a melhor solução factível para um determinado problema aplicado, em clara semelhança ao exercício profissional do engenheiro, onde inclusive poderiam se ilustrar diferentes tecnologias, componentes e interfaces em uma perspectiva de auto-aprendizado. Apesar dessa distinção (hipótese epistemológica 13), ora enfatizando a teoria, ora a aplicação, é viável (e economicamente indicada) a integração das duas modalidades de laboratório, com sistemas a controlar e ferramentas comuns.

Os sistemas utilizados nos laboratórios de controle e automação devem buscar a maior variabilidade possível, demonstrando uma gama maior de problemas de controle, ilustrando as muitas tecnologias utilizadas e enaltecendo as diferentes interfaces ao controle (hipótese pedagógica 29; Kheir et. al., 1996, p. 155). Por outro lado, as grandes variedade e complexidade do controle aplicado impossibilitam uma visão geral de todos os campos de aplicação (idem), devendo-se privilegiar sistemas ligados a problemas reais de controle, conforme Horácek (2000), que cita como contra-exemplo o pêndulo invertido. Uma opção é o tratamento de problemas remotos, através de experimentos em laboratórios virtuais (Bohus et. al., 1996; Corradini et. al., 2001; Poindexter et. al., 1999). Já Zilouchian (1992) fornece diretrizes para a seleção de equipamentos para o laboratório, e Horácek (2000) apresenta diversos modelos e estruturas que podem ser utilizados na construção de sistemas próprios de controle, além de abordar a interface em tempo real entre as estruturas e o MatLab™, ferramenta de controle digital e de análise mais utilizada em laboratórios de controle e automação (tem no SciLab correspondente não comercial). Pereira et. al. (1998) e Bol et. al. (1999), por sua vez, apresentam estudos de caso da implantação de laboratórios de controle e

automação, enquanto Lunt et. al. (2000) apresenta estudo de caso de um laboratório baseado na Internet específico para o controle da manufatura. Kheir et. al. (1996, idem), indica os requisitos que devem ser garantidos nos experimentos, citando exemplos ligados a diferentes focos de aplicação do controle (p 156), além de refutar a supervalorização das simulações, afirmando que cedo os alunos devem ser expostos aos caprichos e às perversidades do mundo real, lidando, por exemplo, com ruídos de medição, atritos e saturação (p. 157). Defende ainda que os laboratórios de controle e automação devem ter sistemas de engenharia de controle auxiliada por computador (*Computer-Aided Control Engineering – CACE*), com ferramentas para modelagem, identificação e simulação de sistemas de controle sob projeto (pp. 157-161).

No caso específico do laboratório de controle, deve-se evitar a adoção de uma ênfase na reconstrução da teoria, indicado somente para teorias baseadas em fenômenos. Os alunos devem ter prévio entendimento sobre a natureza metafísica do conhecimento, inclusive em relação a técnicas de controle como o ajuste de pólos e zeros via Lugar das Raízes e das margens de fase e ganho via diagrama de Nyquist, observando e repercutindo seus efeitos experimentais, e sendo instados a verificar as limitações das teorias do concreto adotadas e das eventuais simplificações incorporadas (ver hipótese epistemológica 11).

O laboratório de automação, por sua vez, voltado para o problema de controle, deve ser valorizado, evitando-se a restrição da resolução de problemas concretos a estágios e projetos finais de curso. Estas etapas são geralmente coordenadas pelo próprio mercado, sendo os aspectos acadêmicos muitas vezes limitados à apresentação e aos documentos finais, não alcançando, portanto, o processo da engenharia. O laboratório de automação supre esta carência ao trazer a prática da engenharia para a academia, criando relevante espaço para a síntese criativa de soluções racionalmente fundamentadas, objetivo essencial do engenheiro, e possibilitando a integração dos controles experimental e aplicado em projetos de controle, essenciais à formação dos engenheiros de controle (Antsaklis, 1999, p. 56).

Nessa direção, esse laboratório pode ser dinamizado, por exemplo, através de um programa “*hands-on*” eficaz, inclusive através da interação com mecanismos de extensão, tais como a empresa-júnior e o estágio curricular, na solução de problemas reais de controle. Um caso<sup>8</sup> limitado de aplicação dessa através de modelos lineares ocorreu em laboratório de automação da UFSC (Laboratório de Controle de Processos – LCP) onde turma experimental de sistemas realimentados foi separada em duplas que desempenharam simultaneamente os papéis de engenheiros de controle e representantes de empresas fictícias interessadas em

---

<sup>8</sup> [www.das.ufsc.br/~andrer](http://www.das.ufsc.br/~andrer), “Referências”, “Doutorando”, “Curso de Doutorado”, “Estágio de Docência”.

soluções de automação aplicadas a pequenos sistemas reais. Cada equipe desenvolveu um problema de automação para resolução por outra equipe, aplicando-se a teoria e as técnicas de controle até então conhecidas (controle clássico). Originou-se um diálogo baseado em especificações e restrições de projeto que resultou soluções satisfatórias, onde emergiu uma melhor compreensão da dinâmica epistemológica do controle, embora se tenha verificado a tendência para o projeto empírico, em claro sinal da existência de bloqueios epistemológicos limitantes ao pensar em controle. Além de permitir uma forte interação entre os diversos atores do processo pedagógico, como nesse exemplo, a abordagem pedagógica *hands-on* também possibilita o diálogo com atores externos ligados ao mercado, de forma similar aos estágios e projetos finais, embora sob uma forma academicamente mais controlada.

Em relação à sala de aula, não se devem confundir os papéis desempenhados nesta e em laboratório, especialmente no controle, onde a natureza metafísica de seu conhecimento praticamente inviabiliza o aprendizado teórico a partir de estímulos empíricos. De qualquer modo, não se pode polarizar laboratório e sala de aula na conhecida dicotomia teoria x prática, pois, assim como ocorre alguma formação prática em sala de aula, através da relevante experiência docente e de dinâmicas apropriadas, também ocorre, no laboratório, a corroboração experimental da teoria do controle.

Enfim, a restrição efetiva à utilização do laboratório no curso de engenharia de controle é a definição do seu melhor momento, que será quando os alunos tiverem condições mínimas para pensar o controle e sua tecnologia sem a criação de bloqueios epistemológicos (hipótese pedagógica 8), ou seja, quando estiverem nas *zonas de desenvolvimento proximal* (conceito definido por Vygotsky, 1999) do controle experimental e aplicado, respectivamente para os laboratórios de controle e automação. Esse é um fator crítico e deve ser preponderante na definição pedagógica do papel do laboratório em um curso de engenharia de controle, pois a multiplicidade de dados sensíveis no laboratório pode facilmente propiciar a substituição do conhecimento metafísico por intuições circunstanciais (hipótese pedagógica 7).

#### **4.5 FORMAÇÃO PROFISSIONAL EM CONTROLE**

A engenharia de controle, através do caráter metafísico do conhecimento que envolve, é intuitivamente considerada por muitos como a engenharia do futuro, o que reflete a percepção de uma tecnologia que se apresenta cada vez mais abstrata de seus fundamentos científicos (hipótese epistemológica 8), e tende ao nível metafísico, onde o engenheiro de

controle idealmente estará apto a operar. Lucky (1998, 2002, 2003) reflete bem a questão da tecnologia ao abordar o distanciamento entre a engenharia elétrica e suas bases científicas, em uma abstração que atinge as engenharias em geral e é catalisada pela metafísica aplicada da informática. Mesmo em áreas não tecnológicas a engenharia de controle pode encontrar seu espaço, como por exemplo na economia, através dos modelos econômicos. Por outro lado, apesar deste contexto estrategicamente promissor, alguns detalhes da realidade profissional dessa engenharia, como a reformulação que vem ocorrendo no Brasil, devem ser avaliados.

Uma análise histórica simplificada remete a duas grandes mudanças produtivas recentes no Brasil: nos anos 50 e 60, com as grandes indústrias de base e o conseqüente boom industrial, em um modelo baseado na produção em escala; e nos anos 80 e 90, com a transição para um novo modelo industrial baseado em novas formas de gerenciamento e na automação flexível, com a modernização do parque industrial e o boom do setor de serviços.

Na primeira fase, as universidades e os cursos técnicos foram estruturados em modelos que apenas a partir da nova Lei de Diretrizes e Bases da Educação – LDB (Brasil, 1996) estão sendo reformulados. Na segunda fase, além desta reformulação oficial, detalhada a seguir, destaca-se a proposição do currículo de um curso específico de engenharia para o projeto, gerenciamento e implantação de sistemas automatizados (Bruciapaglia et. al., 1990). Assim, a engenharia de controle surgiu no Brasil como uma resposta à segunda fase, com a busca de uma formação (controle e automação) que atenda ao novo modelo industrial.

Com a nova LDB, iniciou-se um processo de reforma na formação profissional que está em pleno andamento. O ensino médio é visto como uma etapa de consolidação da educação básica e de preparação elementar para o trabalho e a cidadania, sendo que “após o ensino médio, a rigor, tudo é educação profissional” (Brasil, 1999b), devendo-se entretanto serem resguardados os espaços próprios da pesquisa. A diferença na formação pós-médio reside no “nível de exigência das competências e da qualificação dos egressos, da densidade do currículo e respectiva carga horária” (ibidem). Nesta direção, a atual política oficial sobre educação profissional tem, como pilares mestres, a flexibilidade e a diversidade de currículos, baseados em competências para o exercício profissional (Brasil, 2003a), com a introdução das diretrizes curriculares (Salum, 1999; Ferreira, 1999; Brasil, 2002; Brasil, 2003b).

A nova sistemática profissional trouxe duas outras modalidades de formação profissional: o ensino tecnológico (Brasil, 1997, art. 3; análise crítica em Lima Filho, 1999), já existente, mas até então pouco relevante e quase que restrito à informática, especialmente nos tradicionais cursos de “Analista de Sistemas”; e o seqüencial (LDB, art. 44), destinado à flexibilização e à ocupação das vagas ociosas dos cursos de graduação, para a aquisição de

novas competências, através da formação específica ou da mera complementação de estudos. Em relação à carga horária, os cursos seqüenciais de formação específica, os superiores de tecnologia e os de engenharia apresentam valores mínimos de 1600 (Brasil, 1999c), 2400 (Brasil, 2001) e 3600 horas (Brasil, 1994), respectivamente.

No controle, os dois novos níveis de formação (tecnológico e seqüencial), aliados aos já existentes (técnico e engenharia), buscam atender à maior demanda do mercado, indicada em Bruciapaglia et. al. (1990, p. 205), e advinda da crescente participação do controle nos sistemas produtivos e comerciais, indo desde a operação de equipamentos automáticos e a manutenção de controladores até a pesquisa e desenvolvimento de novos conhecimentos. Assim, se a formação fosse restrita ao ensino técnico e à engenharia, fatalmente não seria atendida a parcela intermediária da demanda supra, ou o seria através da sub-utilização dos engenheiros em atividades elementares que transcendessem o escopo técnico localizado, o que poderia desestabilizar inclusive a essência da academia universitária, pólo de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, conforme Chaimovich (2000, pp. 139/140), que ataca a simples massificação de cursos de engenharia para o atendimento da crescente demanda profissional. Bruciapaglia et. al. (ibidem), por sua vez, demonstra a necessidade da formação em todos os níveis de um número crescente de profissionais em controle.

O progresso na implantação da reforma na formação profissional deve conduzir a um rápido aumento na oferta das novas modalidades, especialmente na esfera privada, como já ocorre na engenharia de controle (Anexo C). Atualmente, contudo, vêm se destacando os Centros Federais de Educação Tecnológica (CEFET) e o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). Como exemplo de curso seqüencial tem-se o seqüencial em Automação Industrial da Universidade de Passo Fundo<sup>9</sup> (Polonskii, 2001); e de curso superior de tecnologia tem-se o curso em Automação Industrial do CEFET de Pelotas<sup>10</sup>.

Diante das novas perspectivas de formação, mostra-se relevante uma análise estratégica dos papéis profissionais a serem desempenhados pelos novos e antigos atores, buscando-se uma noção orgânica de formação e exercício profissional onde todos os níveis sejam abordados e seus espaços bem definidos. Entretanto, não é objetivo fundamental desta tese executar tal tarefa, constituindo também um modelo profissional, porque seu problema está limitado à engenharia. De qualquer modo, para a compreensão do papel profissional do engenheiro, que impõe requisitos à sua formação, deve-se situá-lo no contexto mais amplo.

---

<sup>9</sup> <http://www.upf.tche.br/cursos/mecatronica/inicial.htm>

<sup>10</sup> [http://www.cefetrs.tche.br/superior/automacao\\_2002.htm](http://www.cefetrs.tche.br/superior/automacao_2002.htm)

Primeiramente, contudo, deve-se ressaltar que a temática profissional deve ser abordada com imparcialidade, sem a influência de preconceitos referentes aos cursos superiores de menor duração, inclusive os corporativos.

Os papéis de cada nível surgem do próprio desenvolvimento do conhecimento em controle e em automação, cujas funções elementares vêm sendo padronizadas, e onde tarefas em níveis mais elevados passam a representar novos desafios (Ellis apud Masten, 1995, p. 718), com diferentes níveis de exigência intelectual e tecnológica. Assim, enquanto os engenheiros devem estar livres para se envolverem no desenvolvimento e na adaptação não trivial do conhecimento, os tecnólogos mantêm operacional o controle já estabelecido. Os cursos seqüenciais, por sua vez, complementam os dois níveis promovendo a flexibilidade necessária para o ajuste entre as instituições de formação e as de aplicação e desenvolvimento, sendo notadamente úteis na extensão em controle de engenheiros clássicos, que também competirão profissionalmente com o engenheiro de controle.

Sob uma ótica acadêmica, engenheiros e tecnólogos podem se aprofundar em temas particulares através de cursos de pós-graduação. O tecnólogo em temas ligados ao próprio controle, enquanto os engenheiros de controle, por sua visão geral do campo (Silveira et. al., 1998) e pela sólida base conceitual esperada, em quaisquer outras áreas onde o controle possa auxiliar no desenvolvimento de novos conhecimentos localizados. Esta segunda tendência é ainda pouco aproveitada em função do processo de consolidação em andamento da profissão de engenheiro de controle, da pequena ênfase no amplo papel social possível deste profissional e, no caso brasileiro, da nossa reduzida cultura de pesquisa tecnológica.

Observando-se os papéis do engenheiro de controle e do tecnólogo sob o ponto de vista do mercado produtivo, ter-se-ia um compromisso funcional entre a generalidade e a capacidade do primeiro, e a especificidade e a habilidade do segundo, temperados pelo caráter flexível dos cursos seqüenciais. A origem destas diferenças pode ser percebida na própria exigência curricular, onde dois anos de formação diferenciam as duas modalidades, sendo predominante nos cursos superiores de tecnologia a ênfase nos aspectos puramente técnicos e tecnológicos em prejuízo de suas bases racionais. Nesta direção, tendem a consolidarem-se duas modalidades principais de cursos superiores de tecnologia ligados ao controle: os cursos em “automação industrial”, com ênfase em técnicas de integração de unidades automáticas; e os cursos em “instrumentação e controle”, com ênfase em técnicas de ajuste e na manutenção de unidades automáticas. Cabe à engenharia, por sua vez, integrar todas essas áreas em torno do conhecimento em controle, fundamentando-as e permitindo o exercício profissional em toda a amplitude do conhecimento em controle, até influenciando as demais engenharias para

a realização de projetos adequados ao controle, como, por exemplo, no projeto de tanques cilíndricos, que irão facilitar o controle de nível. É, portanto, crítica uma aprendizagem repleta de bloqueios epistemológicos e com bases técnicas (técnicas de ajuste de controladores, por exemplo), pois um engenheiro de controle restrito a tal formação fatalmente será trocado por um tecnólogo que o substituirá com eficiência e menor custo financeiro. Tende a ser reduzido, deste modo, o espaço para engenheiros de controle nas companhias importadoras de pacotes tecnológicos, sendo inversa esta relação nas companhias que se apóiem em estratégias de adaptação das tecnologias a suas necessidades para a ampliação dos potenciais de qualidade e produtividade. É crescente, portanto, a necessidade de soluções individualizadas em controle, com a abertura de empresas específicas de automação comercial, bancária e industrial, como já vem ocorrendo com egressos da Engenharia de Controle e Automação da UFSC.

Este contexto, que elimina a histórica exclusividade profissional do engenheiro em relação a certas relações com a tecnologia, exige a garantia na sua formação do diferencial conceitual que dois anos adicionais deveriam proporcionar. Este fator não é ainda notado devidamente pela comunidade, que deveria ocupar-se dos ajustes necessários, especialmente no caso do controle que com seu caráter inovador e atual tende a atrair a atenção dos outros níveis de formação para a criação de cursos técnicos e tecnológicos. Por outro lado, por ser uma habilitação recente, a engenharia de controle está mais aberta à realização de mudanças. Neste sentido, a qualificação da formação em engenharia em relação aos outros níveis profissionais dispõe da aplicação dos modelos epistemológico e pedagógico desta tese para a garantia de uma formação sólida ao futuro engenheiro de controle (ver hipótese pedagógica 22), tornando-o capaz de aplicar o conhecimento em controle em quaisquer tipos de sistemas. A falha nesta formação generalista suprime o diferencial próprio desse profissional, que irá então depender de fatores individuais e/ou ligados a alguma formação externa ao controle.

#### **4.6 ASPECTOS NÃO TÉCNICOS DA ENGENHARIA DE CONTROLE**

A forte influência social do controle, especialmente com a automação, impõe a conscientização social a seus profissionais, particularmente o engenheiro, a quem cabe pensar o problema de controle. Surgem, assim, pressões legítimas pelo comprometimento social, com a tradicional neutralidade técnica sendo percebida como irresponsabilidade social (Freire, 1997; Bazzo, 1998; Bazzo et. al., 2000). As coisas técnicas precisam ser vistas como elementos de cultura e não como algo acima dela (Pereira et. al., 1998, p. 503), com a

inclusão de condições culturais *lato sensu* (ambientais, culturais e sociais; Brandt et. al. 1996, p. 656) no desenvolvimento dos sistemas. Em última análise, o próprio homem é sujeito e objeto nas suas relações com sistemas naturais e artificiais (ciência e tecnologia).

A própria epistemologia do controle, diferentemente de engenharias clássicas, favorece a percepção das diversas relações de interdependência entre soluções tecnológicas e a sociedade, com a devida realimentação desta para as lógicas de criação e atuação do engenheiro de controle. Esses profissionais são chamados a responderem positivamente às crescentes demandas não técnicas relacionadas à tecnologia, de modo que a integração entre aspectos técnicos *lato sensu* (metafísica, tecnologia e ciência, no caso da engenharia de controle) e aspectos não técnicos é um desafio relevante às instituições de ensino, amplificado por visões conflitantes da sociedade sobre a realidade do engenheiro (Chisholm, 2003, pp. 29-30). Neste contexto, Pereira Filho (2001) defende a relevância da epistemologia na formação de engenheiros com cultura humanista e sensibilidade para os problemas sociais e ambientais.

Aliados aos implícitos anseios sociais, estão os explícitos anseios profissionais do mercado de trabalho, amplamente abordados na literatura de ensino tecnológico, como em Linsingen et. al. (1999), Fogler (1997), Kheir et. al. (1996) e Masten (1995). Destas pressões, surgem expectativas não técnicas adicionais, decorrentes dos fenômenos da informatização, da globalização, da automatização e da terceirização, e pela valorização estratégica da mão-de-obra, a partir de níveis crescentes de educação formal e do incremento dos direitos sociais. O capital humano é tratado deste modo não mais como mera fonte de conhecimentos técnicos, mas também como fonte de experiências e habilidades que o diferenciem positivamente – o que não necessariamente se reverte em reconhecimento financeiro (Demo, 1999, p. 35). A tradicional mão-de-obra especializada tende assim a ser substituída por profissionais mais autônomos e com áreas de atuação ampliadas, gerando-se maior competitividade imediata (prejudicando-se a percepção do papel social *do e pelo* profissional), em um perfil que valoriza o engenheiro de controle, desde que adequadamente desenvolvida sua formação.

Mas a generalidade do engenheiro de controle não pode ser confundida com superficialidade, devendo ele ter pleno domínio da generalização sistêmica da tecnologia e da própria sociedade, e considerar, sempre que necessário, os efeitos sociais de sua profissão, transitando livremente nas diversas classes epistemológicas conexas ao controle. Diante destes pressupostos, outras habilidades não técnicas podem ser integradas ao processo pedagógico na busca de uma formação que atenda um mercado de trabalho mais exigente e com relações laborais mais flexíveis, e onde, conforme Fogler (1997, p. 2), a manutenção do trabalho depende mais do que o engenheiro ainda pode fazer do que daquilo que já fez.

Kheir et. al. (1996, pp. 152-153) avalia, através de pesquisa na indústria em geral, a realidade do mercado de trabalho e as expectativas deste em relação aos engenheiros. O autor indica que dentre as necessidades mais urgentes estão as habilidades inter-pessoais, que, embora resultem de fatores individuais, podem ser descobertas e/ou fortalecidas diante de uma perspectiva educacional proativa e integradora, com responsabilidades claramente assinaladas aos atores e onde estes possam desenvolver uma visão sólida de sua profissão e do conhecimento que a sustenta. As principais habilidades inter-pessoais destacadas pelo autor são as relacionadas ao trabalho em grupo ou colaborativo, especialmente relevantes para o engenheiro de controle, devido às múltiplas relações potenciais em seu exercício profissional e à natureza do seu conhecimento, que pode interagir com quaisquer das áreas tecnológicas e científicas. Infelizmente, as técnicas tradicionais de ensino, que valorizam a individualidade e a objetividade na avaliação, promovem bloqueio epistemológico à construção colaborativa do conhecimento, e que serviria de base epistemológica para o futuro trabalho profissional em equipe. Por outro lado, o desenvolvimento colaborativo do engenheiro de controle, além da alternativa dos laboratórios de automação e das atividades complementares de pesquisa e extensão, depende diretamente da formação metafísica, enfatizada neste trabalho. Isto decorre do fato de que “os grupos de maior sucesso, tanto em termos de resolução de problemas quanto do envolvimento ativo de todos os seus membros, são aqueles com maiores níveis de conhecimento metacognitivo” (Artzt e Armour-Thomas apud Dillenbourg et. al. 1996, p. 205), ou seja, a presença de membros com domínio de meta-conhecimento facilita a condução e o desenvolvimento dos grupos (idem, p. 201). Assim sendo, quando tem adequadamente desenvolvida sua formação metafísica, o engenheiro de controle torna-se líder natural para a condução eficaz de equipes multidisciplinares, sejam ou não tecnológicas. É interessante citar que este efeito, a influência positiva do metaconhecimento para o grupo, é denominado por Dillenbourg et. al. (idem) de *controle*! Daí um segundo papel que emerge de uma adequada formação metafísica: o controle, no sentido colaborativo, de equipes.

Outras carências ou expectativas podem ser atendidas através de opções de formação, que não podem, entretanto, obstaculizar a formação essencial do engenheiro de controle, que é a voltada à resolução do problema de controle (na forma mais ampla possível). Por outro lado, a epistemologia tradicional (realismo metafísico – Bissell, 1999b, p. 46), ao sustentar uma tecnologia neutra e relegar componentes culturais, desestimula conhecimentos que não se encaixem no domínio técnico requerido, tratado como suficiente para a formação. Este reducionismo impõe a carência de outras habilidades relevantes ao futuro exercício profissional, seja como projetista, pesquisador ou gerente de tecnologias.

A complementação não técnica da formação do engenheiro de controle deve ser compartilhada pelos professores, que devem nutrir uma perspectiva sistêmica de suas disciplinas particulares e da engenharia de controle, percebendo e fazendo perceber, de forma responsável, a multiplicidade de interdependências existentes entre a metafísica, a tecnologia, o exercício profissional e a sociedade. A realização deste objetivo não é conflitante com o ensino técnico, pois assim como a intuição preenche lacunas deixadas pela razão, que existirão porque a razão é concretamente limitada; a formação não técnica complementa as lacunas da formação técnica na relação do profissional com a realidade. É nessa direção, inclusive, que deficiências técnicas podem ser dissimuladas no exercício profissional em extensão ao estereótipo do *sabido* (Giannotti, 1986, p. 50). O objetivo da formação não técnica não deve ser, pois, a ocultação de deficiências técnicas, gerando-se novos bloqueios epistemológicos, mas o apoio à formação técnica em sua legítima adaptação à realidade.

#### **4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

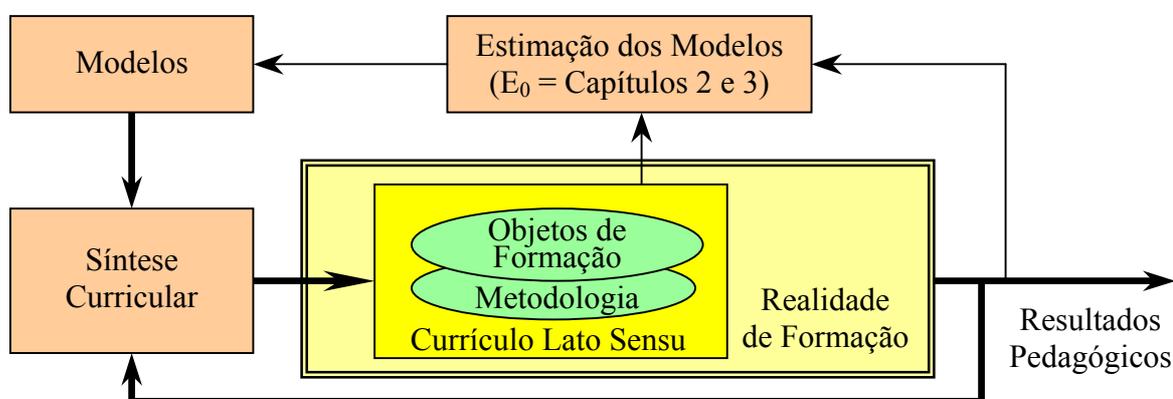
A partir da racionalização da realidade da engenharia de controle no Brasil, sintetizada nos dois capítulos anteriores, este capítulo abordou temas particulares relacionados à formação, através do papel pedagógico da informática, da pesquisa e dos laboratórios, e da busca por um melhor entendimento de fatores externos não essencialmente epistemológicos ou pedagógicos: a necessidade de uma formação não estritamente técnica, a justificação do curso (que transcende ao multidisciplinar) e seu ordenamento profissional.

No próximo capítulo, após estas complementações sobre a realidade de formação, é retomado o eixo pedagógico central do curso, com reflexos dos modelos desta tese sobre a própria realidade modelada, em atendimento à segunda parte da questão central da tese, definida no capítulo introdutório.

## 5 SÍNTESE CURRICULAR

Este capítulo repercute o modelo para a engenharia de controle dos capítulos anteriores sobre a própria realidade, a partir de aspectos epistemológicos e metodológicos que deveriam compor um processo continuado de desenvolvimento da formação: a *síntese curricular*. Avaliar este processo é o objetivo deste capítulo, com o aprofundamento na compreensão da tese e a introdução de perspectivas efetivas de sua aplicação.

Utilizando os conceitos dos capítulos anteriores, a síntese curricular pode ser definida como um processo dialético que envolve os modelos epistemológico e pedagógico (tese) e os resultados pedagógicos (antítese) na definição do currículo *lato sensu*, refletindo e dinamizando os modelos em direção à realidade de formação. Sob este enfoque dinâmico, enquanto a estimação dos modelos evolui lentamente conforme a percepção sobre a realidade, envolvendo a análise do currículo e os resultados pedagógicos (medição), a síntese curricular deve impor um desenvolvimento continuado do currículo, de modo a afetar positivamente os resultados pedagógicos. A figura 2 ilustra estas duas dinâmicas interdependentes, que configuram a dinâmica pedagógica para a engenharia de controle defendida nesta tese.



**Figura 2** – Dinâmica Pedagógica

A inexistência de modelos racionais restringe a dinâmica pedagógica a uma síntese curricular pragmática e heurística, baseada no sistema das intuições pedagógicas

individuais, com as restrições já levantadas por esta tese. A utilização dos modelos propostos, por sua vez, permite a integração racional dos esforços institucionais e departamentais, em um processo global de “controle da aprendizagem”, análogo a uma estratégia adaptativa de controle onde a síntese curricular e o próprio ensino comporiam o controlador.

Nesta direção, por ser um processo socialmente aplicado, a síntese curricular deve respeitar a realidade cultural, com estruturas cognitivas repletas de concepções prévias positivas e/ou negativas. As múltiplas perturbações e saturações envolvidas remetem a ajustes específicos para cada realidade local de formação, com limitações e qualidades particulares, inclusive ligadas às próprias instituições de ensino e à realidade social circundante. Cite-se, por exemplo, a realidade da Universidade Federal de Minas Gerais, imersa em um relevante pólo industrial, que pode ser bem aproveitado na síntese curricular (Pena et. al., 2001). Além disso, cada instância de formação pode apresentar diferenças nas metas de formação. Uma instituição imersa em um pólo petroquímico, por exemplo, tende a direcionar a metodologia para uma melhor formação no controle de processos típicos de indústrias ligadas ao petróleo.

Portanto, a síntese curricular deve ser desenvolvida pelos próprios agentes de ensino, os professores, tendo os modelos como referência e respeitando a realidade dos alunos, que também deve estar contemplada nos modelos. Não deve ser, assim, imposta, não tendo assim esta tese a pretensão de estabelecer um padrão, mas apenas indicar perspectivas gerais de concretização. De qualquer modo, as condições não epistemológicas de formação, na figura de pressões internas (potencial metafísico dos alunos, formação do corpo docente, desenvolvimento histórico, potencial de controle experimental etc.) e externas (mercado de trabalho, extensão, pesquisa etc.), não podem distorcer a essência da engenharia de controle.

Em linhas gerais, e considerando os desenvolvimentos até aqui realizados, a dinâmica pedagógica a ser contemplada na síntese curricular de uma engenharia de controle apresenta três momentos fundamentais que se complementam na sistematização do ensino:

1. Revisão – Ruptura dos bloqueios epistemológicos, preparando as cognições individuais para o diálogo pedagógico propriamente dito. Os professores são revisores das concepções prévias dos alunos e de seus próprios bloqueios ao ensino.
2. Formação – Apreensão efetiva de novos conhecimentos. Os professores são efetivamente professores.
3. Maturação – Apoio à formação continuada em temas já apreendidos, consolidando-os cognitivamente. Os professores são orientadores.

Na prática, os três são interdependentes, devendo a síntese curricular orientar os professores quanto aos objetivos a serem alcançados em cada um. Uma disciplina de cálculo, por exemplo, além de formar os alunos neste aspecto, deve também prepará-los para o diálogo metafísico (e não o científico), conflitando bloqueios pertinentes, bem como deve amadurecer as apreensões matemáticas anteriormente realizadas. Além disso, embora os três momentos sejam aqui abordados no nível estratégico, eles também podem sê-lo no nível técnico, conforme exemplo em Braga (2001), com técnicas de pré-classe, classe e pós-classe.

Por outro lado, é a formação o momento crucial da aprendizagem, estando os demais a seu serviço. É, portanto, o tema central de interesse da síntese curricular, de modo que a formação em engenharia de controle é aprofundada em seguida, a partir de seus aspectos epistemológicos e pedagógicos. Posteriormente, são tecidos alguns comentários e apresentados casos referentes à revisão e à maturação dessa mesma formação.

## **5.1 FORMAÇÃO**

O estudo da formação em engenharia de controle deve basicamente avaliar os incrementos cognitivos positivos a serem buscados nos alunos, com a prévia revisão das concepções prévias e a posterior maturação cognitiva. A compreensão desses incrementos envolve sua determinação, através dos objetos de aprendizagem, e a respectiva definição metodológica, em um contexto integrado de síntese curricular. Entretanto, para facilitar a abordagem ao tema, a formação é tratada a partir de seu enfoque epistemológico (objetos de aprendizagem) e metodológico, que reflete a distinção realizada no terceiro capítulo, entre aspectos epistemológicos e metodológicos da questão curricular.

### **5.1.1 Enfoque Epistemológico**

Para subsidiar a definição dos objetos de formação no processo de síntese curricular em um curso de engenharia de controle, é a seguir abordado o seguinte sistema de corolários diretamente decorrente do modelo para o curso definido nos capítulos anteriores:

1. *A responsabilidade social é importante.*
2. *O controle deve ser introduzido a partir de sua ontologia.*
3. *A formação matemática e a lógica são os alicerces da formação racional em controle.*
4. *A modelagem deve ser resgatada.*
5. *As diferentes perspectivas de controle devem ser igualmente abordadas.*

6. *O conhecimento técnico deve estender o metafísico.*
7. *Os aspectos funcionais e a influência colateral do suporte material do controle devem ser priorizados.*
8. *Os conhecimentos científicos e tecnológicos particulares devem emergir da formação metafísica.*
9. *A justificação empírica do controle é a base da formação aplicada.*
10. *O projeto de controle é a principal competência do engenheiro de controle.*
11. *Deve-se assumir a responsabilidade do projeto para o controle.*
12. *O controle aplicado deve propiciar a justificação da formação em controle.*

Este sistema de corolários, que se contrapõe em vários aspectos às respectivas considerações da comunidade tratadas no terceiro capítulo, é abaixo detalhado, com a indicação dos principais elementos desta tese que contribuem para sua constituição:

- 1) *A responsabilidade social é importante* – O controle aplicado representa o auge da ação tecnológica sobre a sociedade. Assim, em paralelo à formação racional, deve-se evidenciar o papel social do engenheiro do controle, conscientizando os alunos sobre os efeitos não técnicos do exercício profissional (seção 4.6 – “aspectos não técnicos da Engenharia de Controle”), inclusive os decorrentes da pesquisa (seção 4.3), agente de desenvolvimento epistemológico. Por outro lado, é inócua reconhecer a relevância deste corolário sem integrá-lo à formação “técnica”, mantendo-o isolado em disciplinas estanques.
- 2) *O controle deve ser introduzido a partir de sua ontologia* – A introdução do conhecimento em controle no clássico (hipótese epistemológica – he 10) impõe restrições cognitivas que dificultam a posterior apreensão de outras formas de controle (he 1; hipóteses pedagógicas – hp 16, 18 e 22). Esse conhecimento deve ser introduzido a partir da ontologia sistêmica (he 3 e 5; hp 24 e 26; seção 4.1 – “Interdisciplinar x Sistêmico”), em bases gerais para a formação, mesmo após o curso (aprendizado continuado). Deve-se destacar a complexidade dos sistemas em relação às teorias do concreto (he 8), desmistificando o realismo metafísico e indicando as limitações decorrentes da necessária simplificação da realidade (he 11). Deve-se assim fornecer um panorama o mais amplo possível do conhecimento (hp 25 e 32), que não deve ser tratado de forma reducionista. Assim, ao ser posteriormente apresentado a instâncias do controle, o aluno poderá rapidamente identificar e processar seu conhecimento de interesse.

- 3) *A formação matemática e a lógica são os alicerces da formação racional em controle* – A matemática e a lógica não são instrumentais, como nas ciências particulares (apoiadas nos fenômenos particulares), mas formam a linguagem que viabiliza de modo quantitativo e qualitativo, respectivamente, a razão metafísica do conhecimento em controle (he 4). Estas linguagens devem ser, pois, exploradas de forma exaustiva e em uma semântica metafísica para a necessária maturação cognitiva individual (hp 27 e 28), distinguindo-se a lógica da tecnologia da informação (seção 4.2 – “O papel da Tecnologia da Informação”, aspectos lógicos e materiais da informática, respectivamente).
- 4) *A modelagem deve ser resgatada* – A histórica confusão entre realidade e modelo (hp 19 e 22) ocasiona um menosprezo pela formação em modelagem, implícita nas teorias científicas particulares das engenharias clássicas. Ocorre que o modelo, aplicável desde a engenharia reversa de sistemas tecnológicos até a representação de sistemas naturais, estrutura racionalmente o problema de controle, sendo a primeira etapa do projeto e de sua dinâmica epistemológica própria (he 1, 6 e 7), influenciando todas as etapas posteriores. A modelagem permite, assim, a apreensão dos aspectos estáticos e dinâmicos relevantes da realidade, racionalizando-a para a posterior busca de sínteses de controle (engenharia). O aluno precisa, pois, conhecer suas bases gerais e os diferentes arcabouços lógico-matemáticos que a sustentam, suas qualidades e limitações, podendo apreender a realidade em seus diversos aspectos. A visão da simulação como panacéia de projeto, em extensão à supervalorização da metafísica aplicada da informática, e a formação através de modelos definidos previamente, precisam ser definitivamente descartados (he 12; hp 20).
- 5) *As diferentes perspectivas de controle devem ser igualmente abordadas* – Os controles clássico e moderno apresentam, nesta ordem, alguma ascendência epistemológica, pois as demais formas de controle surgiram nestes paradigmas, apresentando alguma ligação a eles (he 10). Contudo, o estudo de sistemas e da modelagem já introduz a essência metafísica do controle clássico (he 3 e 4; hp 25 a 28), restando sua mera introdução em uma perspectiva de controle. Nesta tarefa, todas as formas de controle devem ser igualmente situadas entre si e em relação ao conhecimento em controle em geral, detalhando-se então cada uma na medida necessária à engenharia, sem perder o foco comparativo que deve

sustentar os princípios cognitivos básicos à tomada de decisão de projeto. Nenhuma forma posta de controle (inteligente, a eventos discretos, adaptativo, robusto, nebuloso, etc) deve ser relegada ou tratada como opcional, limitando a futura capacidade profissional.

- 6) *O conhecimento técnico deve estender o metafísico* – As técnicas de análise e síntese de controle não devem sustentar a formação metafísica (hp 19 e 22), como costuma ocorrer nas engenharias clássicas, mas devem estendê-la. Estas técnicas criam relevantes atalhos de aplicação, tais como as técnicas de ajuste dinâmico via lugar das raízes e de ajuste empírico de controladores PID. São importantes, assim, na instrumentalização dos futuros engenheiros de controle, estendendo o exercício profissional ligado às bases racionais. Devem, portanto, estender essas bases, diferenciando-se dos níveis técnico e tecnológico, onde há um enfoque nas técnicas. Técnicas de estabilidade, por exemplo, devem estender a apreensão de noções gerais de estabilidade.
- 7) *Os aspectos funcionais e a influência colateral do suporte material do controle devem ser priorizados* – A formação deve explorar os aspectos funcionais dos mecanismos de medição, atuação, controle e de transmissão e manipulação de sinais, todos essenciais na aplicação tecnológica do controle (he 6), e que, fora sua funcionalidade, podem ser modelados e tratados racionalmente como sistemas (he 3), inclusive na determinação de eventuais influências colaterais dos mecanismos nos sistemas de controle.
- 8) *Os conhecimentos científicos e tecnológicos particulares devem emergir da formação metafísica* – A síntese curricular da engenharia é comumente baseada em eixos ciência-tecnologia, bases das engenharias clássicas, o que se mostra inadequado para a engenharia de controle (he 9; hp 18 e 19). O conhecimento acerca do concreto (ciência, tecnologia e outras teorias do concreto) deve, pois, ser introduzido a partir de suas interfaces metafísicas (hp 29), com algum detalhamento adicional (mas não aprofundado) relativo ao suporte material, através, por exemplo, de um núcleo de conhecimentos mínimos em eletrônica e mecânica complementado por aspectos materiais da informática. Algum complemento pode ainda ser definido pelo colegiado, em uma estratégia de formação profissional, mas não pode ser preponderante ao conhecimento em controle, usando espaços curriculares necessários à essência dessa engenharia.

- 9) *A justificação empírica do controle é a base da formação aplicada* – Deve-se ter uma ênfase especial no controle experimental (he 12; hp 30), que não pode ser substituído pelo “controle virtual” (hp 20), pois sua justificção depende do uso de sistemas [reais], com todo um aprendizado relacionado à percepção das deficiências e limitações das teorias e modelos. A carência da formação experimental dificulta incursões futuras no controle aplicado (he 13), limitando a criação de projetos realistas, e na pesquisa experimental, com a verificação da aplicabilidade das diferentes perspectivas de modelagem e controle.
- 10) *O projeto de controle é a principal competência do engenheiro de controle* – É no projeto que é efetivamente sintetizada a dinâmica epistemológica (he 6) do controle em direção à resolução de seus problemas próprios. Não pode, assim, ser tratado apenas em disciplinas finais, sem ensino, mas deve ser abordado de forma consistente em sala de aula e nos laboratórios de automação (seção 4.4), exercitando a tomada de decisão fundamentada e criativa do aluno sobre os modelos, topologias, lógicas e suporte material empregados. Uma metodologia de projeto deve ser apreendida para a sistematização otimizada de suas rotinas de criação, onde devem ser corretamente aplicados os diagramas, as técnicas e as bases racionais ligadas ao controle, incluindo as interfaces com as teorias do concreto, bem como devem ser exercitadas outras habilidades necessárias à profissão (seção 4.6 – “Aspectos não técnicos da Engenharia de Controle”). Além disso, o potencial de projeto do aluno é ampliado com uma boa formação prévia em modelagem, pois o projeto é, em seu cerne, também um modelo.
- 11) *Deve-se assumir a responsabilidade do projeto para o controle* – A formação deve propiciar a percepção acerca das possíveis dificuldades de controle nos diferentes sistemas (he 8), cabendo, pois, ao engenheiro de controle influenciar as outras engenharias na busca de projetos que sejam, na medida do possível, “amigáveis” ao controle (seção 4.5 – “Formação profissional em Controle”). Assim, deve haver uma atenção específica aos aspectos interdisciplinares da profissão que enalteça o projeto de engenharia para o controle.
- 12) *O controle aplicado deve propiciar a justificção da formação em controle* – O controle experimental costuma ser aplicado em modelos e em perspectivas de controle pré-definidos. Já o controle aplicado pressupõe liberdade de projeto, com especificações econômicas, técnicas e sociais típicas da engenharia (he 13

e 15). Serve, pois, de arena para a verificação da formação do aluno em engenheiro de controle, devendo propiciá-la no âmbito mais amplo possível (hp 31), o que não é necessariamente atendido pelos estágios e projetos finais.

Desse sistema de corolários não emerge um currículo modelo para o curso, mas princípios epistemológicos que estendem os princípios pedagógicos do terceiro capítulo (hp 23 a 32) para a indicação de estratégias de síntese curricular ligadas aos objetos de formação. A definição precisa destas estratégias e a posterior conversão em componentes curriculares competem ao colegiado do curso, podendo resultar em variadas instâncias curriculares, assim como ilustrado nas estruturas de referência apresentadas no terceiro capítulo. Por outro lado, os corolários refletem os seguintes aspectos de formação essenciais a qualquer currículo:

- O componente pedagógico do primeiro corolário deve estar implícito em todo o processo, a partir dos agentes, pois a relevante função social da engenharia de controle é preponderante às demais, devendo ser reconhecida pelo curso.
- Os corolários 2 a 8 envolvem o desenvolvimento intelectual no conhecimento em controle em uma perspectiva “top-down” (hp 32), partindo de sua ontologia até o suporte material e as interfaces com as teorias do concreto. Do ponto de vista da dinâmica epistemológica (he 6), os corolários 4 e 8 estão relacionados à apreensão da realidade; os 5 e 6 ao tratamento metafísico; e os 7 e 8 ao suporte material; enquanto os 2 e 3 abordam bases gerais ligadas ao controle.
- Os corolários 9 a 12 envolvem a consolidação profissional de um agente social (primeiro ponto) e intelectualmente (segundo ponto) capacitado, com o resgate do controle experimental, a valorização do projeto de engenharia (“de” e “para o” controle), e a justificação final da formação através do controle aplicado.

Deste sistema de corolários de apoio ao enfoque epistemológico da síntese curricular, que envolve aspectos sociais, intelectuais e profissionais, e que deve ser adaptado à realidade local de cada curso, deve-se destacar, em relação à realidade modelada no terceiro capítulo, as seguintes carências que são mais evidentes: i) a introdução do conhecimento em controle através de sua ontologia sistêmica; ii) o resgate da modelagem; e iii) a devida importância do projeto “de” e “para o” controle. Esse enfoque da formação na síntese curricular é a seguir complementado com o metodológico, ressaltando-se que essa divisão é circunstancial, pois os objetos e os métodos de ensino formam um sistema interdependente onde as definições de um lado afetam centralmente as correspondentes do outro.

### 5.1.2 Enfoque Metodológico

A formação na engenharia de controle, que aborda conhecimentos de diferentes naturezas e ênfases, deve apresentar uma metodologia que estimule a aprendizagem nos seus diversos aspectos particulares, sejam básicos, instrumentais, experimentais e/ou aplicados. Aos professores, por sua vez, em sua experiência docente individual, cabe a implementação de técnicas pedagogicamente coerentes com tais estratégias de ensino, tendo nos resultados pedagógicos indicadores de verificação da adequação do sistema metodologia/técnicas. As repetições de objetos (diferente da maturação), por exemplo, demonstram a ineficiência do sistema aplicado. Infelizmente, a carência de um debate metodológico sobre a formação impõe a culpabilidade sobre tal ineficiência à grade curricular e aos próprios alunos.

Diante deste contexto, a questão metodológica (“como ensinar?”) acaba sendo reduzida a aspectos temporais (“quando ensinar?”), confundindo-se com o próprio enfoque epistemológico da formação (“o que ensinar?”). Tende-se pois ao esvaziamento metodológico abordado no terceiro capítulo, com a adoção imediata de técnicas pedagógicas, direcionadas pelas disciplinas isoladamente, sem um eixo metodológico referencial de conduta pedagógica.

De qualquer modo, o enfoque metodológico de formação depende diretamente do epistemológico, tendo os objetos de ensino, na figura dos diferentes conhecimentos acima citados, como fontes primárias para sua definição. Assim sendo, uma abordagem ao assunto similar à dada na seção anterior depende da revisão prévia de algumas concepções temporais de um curso historicamente desenvolvido, com ajustes epistemológicos que são necessários para o debate metodológico; tais como os seguintes, já abordados anteriormente:

- 1) a formação matemática objetiva sustentar a formação científica básica → a formação científica não deve retardar a semântica metafísica da matemática;
- 2) o engenheiro não pode ser um analfabeto funcional em informática, que deve compor a formação básica → nas atuais gerações e diante dos recursos fornecidos pelas instituições, a informática tradicional decorre da formação extracurricular; devendo ser ensinada já sob uma semântica metafísica (aspectos lógicos) e na introdução do suporte material (aspectos materiais);
- 3) os sistemas de interesse do curso devem ser aprofundados antes da introdução ao controle → o controle deve ser introduzido sobre os sistemas em tese, sem qualquer distorção, deixando-se a particularização para os posteriores controles experimental e aplicado e, se possível, segundo as expectativas profissionais dos alunos (e não do curso);

- 4) a formação em controle deve fundamentar-se no controle clássico → deve ser introduzida a partir de sua ontologia, o mais cedo possível;
- 5) o núcleo de controle deve encerrar a estrutura curricular, com introdução ao suporte material e opções em controle avançado → ele deve integrar-se às bases lógico-matemáticas e preceder a consolidação profissional, com a opção por sistemas particulares (como a UFMG procura fazer);
- 6) a consolidação profissional compete à extensão, à pesquisa e a atividades curriculares dissociadas do ensino (estágio e projeto final de curso) → a engenharia deve compor a formação após um núcleo intelectual mínimo no conhecimento em controle, sendo seguidamente exercitada.

Estes ajustes, que decorrem do modelo dos capítulos anteriores, são elementos fundamentais para a estruturação do subprojeto metodológico do projeto pedagógico de um curso de engenharia de controle, que é dinamizado a partir do processo da síntese curricular. Por outro lado, o subprojeto epistemológico, que decorre do enfoque tratado na seção anterior, já traz implícito diversos condicionantes metodológicos que devem ser trabalhados pelos agentes locais de ensino. Diante deste contexto, e seguindo a linha adotada anteriormente, são a seguir indicados corolários de onde emergem princípios metodológicos de referência para a definição local de uma metodologia de formação, e que decorrem não somente do modelo dos capítulos anteriores, mas também do sistema de corolários da seção anterior. Não cabe aqui, portanto, introduzir um novo sistema de corolários, mas complementar aquele já definido com aspectos metodológicos ainda não contemplados (“corolários transversais”). São eles:

1. *A formação deve ser sistêmica.*
2. *As etapas da dinâmica epistemológica do controle devem se refletir no problema de controle.*
3. *A ciência deve ser instrumental ao controle.*
4. *A formação matemática e a lógica devem ser justificadas através da metafísica.*
5. *A informática precisa distinguir os aspectos lógicos dos materiais.*
6. *Os laboratórios devem ser de controle e/ou de automação.*
7. *A metodologia deve ser compreendida pelos professores e atender suas expectativas.*

Estas extensões são a seguir detalhadas, com a indicação de aspectos complementares aos já abordados anteriormente:

- 1) *A formação deve ser sistêmica* – Este corolário parece repetir pontos de seções anteriores, a partir das hipóteses epistemológicas (he) 1 a 3, e das hipóteses

pedagógicas (hp) 24 a 26 e 32. Entretanto, até aqui foram abordados apenas aspectos epistemológicos, com a introdução do conhecimento em controle pela ontologia sistêmica e a valorização da formação metafísica. Do ponto de vista metodológico, por sua vez, conforme hp 32, a formação requer o compromisso com a permanente visão orgânica do conhecimento pelos atores do processo pedagógico, especialmente os professores. Esta condição não se apresenta nas engenharias clássicas por sua natureza analítica (hp 14). Para uma engenharia sistêmica, contudo, deve-se manter uma perspectiva integral do conhecimento (hp 15), evitando uma especialização que não legitime a formação plena (hp 16 e 19). Portanto, os professores devem estar conscientes das realidades epistemológica e pedagógica do curso, bem como dispostos à contínua contextualização dos conhecimentos específicos em relação a aspectos gerais do conhecimento em controle e de sua ontologia sistêmica.

- 2) *As etapas da dinâmica epistemológica do controle devem se refletir no problema de controle* – A formação sistêmica deve refletir-se na aprendizagem profissional, que não deve especializar-se, sob pena de tornar-se técnica (ou tecnológica, conforme seção 4.5). Isto não ocorre com o engenheiro clássico porque este recebe a base científica necessária para especializar-se em seus processos particulares (hp 12 e 14). Quando são bases metafísicas, contudo, não cabe a especialização profissional, devendo o profissional dominar todas as etapas da dinâmica epistemológica envolvida (hp 6), em um processo de generalização. Assim, o bom engenheiro de controle deve dominar a apreensão da realidade, o tratamento metafísico e a aplicação do controle, envolvendo o maior sistema possível de conhecimentos correlatos. Assim, o problema de controle deve ser abordado sempre considerando essas três etapas, mesmo que acessoriamente, não se podendo dogmatizá-las, como, por exemplo, com os modelos padronizados de sistemas pré-definidos (corolário epistemológico – ce – 4). O problema de controle baseado em tais etapas epistemológicas, que se refletem em etapas de projeto, deve ser a ênfase permanente da formação profissional, valorizando a identidade profissional ao caracterizar o foco do exercício profissional (ce 10 e 11). A implementação desta estratégia, com uma prática epistemologicamente ajustada, tende inclusive a eliminar os recorrentes bloqueios teoria/prática, ficando apenas distinções teórico/práticas essenciais ao curso, conforme segundo capítulo e sistema de corolários da seção anterior.

- 3) *A ciência deve ser instrumental ao controle* – A questão do conhecimento científico não se resume à exclusão ou postergação no currículo, mas envolve sua explícita utilização pelo controle (ce 8), que não ocorre, pois as disciplinas “científicas” são clonadas dos cursos clássicos (hp 18), a partir de padrões departamentais, de modo que tal conhecimento é abordado alheio à semântica de controle (hp 19). A efetivação dos corolários anteriores permite a reversão deste quadro, em direção à busca da generalidade própria do controle (he 1 e 2), valorizando-se questões gerais, como a apreensão da realidade pelo controle a partir das interfaces das teorias do concreto (modelagem – hp 29, ce 4), no lugar do aprofundamento em processos particulares; que pode ser oferecido posteriormente, permitindo, segundo a estratégia de inclusão profissional dos alunos, a extensão na aplicação do conhecimento para casos mais elaborados.
- 4) *A formação lógico-matemática deve ser justificada através da metafísica* – A lógica e a matemática são linguagens racionais do conhecimento em controle, devendo compor sua espinha dorsal de formação (he 4, hp 27 e 28, ce 3). Atualmente, entretanto, falta uma integração pedagógica, com o esvaziamento da formação metafísica (hp 22). Ocorre que do ponto de vista metodológico, a formação lógico-matemática deve ser inteiramente implementada segundo uma semântica de controle, abolindo-se abordagens pedagógicas gratuitas ao curso. Esse ajuste semântico promove a consolidação das bases racionais em controle, evitando os bloqueios epistemológicos detalhados no terceiro capítulo (hp 22). Deve-se ainda integrar ao máximo lógica e matemática (hp 28), favorecendo-se a percepção orgânica do problema de controle. Uma alternativa é a aplicação de ambas na formação em modelagem (ce 4). Deve-se também aplicá-las no estudo dos diagramas ligados ao estudo dos modelos, tais como os de estado e as redes de Petri, que devem ser explicitamente apoiados nas bases racionais do controle, evitando-se sua restrição cognitiva ao enfoque meramente técnico.
- 5) *A informática precisa distinguir os aspectos lógicos dos materiais* – Os conhecimentos em informática estão em geral dissociados da epistemologia da engenharia de controle (hp 11 e 21), surgindo segundo uma metodologia onde eles são ensinados independentemente do curso, o que se reflete nos cursos de referência, com disciplinas dissociadas da perspectiva de controle. Ocorre que tais bases podem representar diferentes concepções epistemológicas para o

controle (he 4, 6 e 12), devendo a estratégia para a informática ser ajustada para evidenciar a distinção entre aspectos lógicos (tratamento da informação) e materiais (transmissão, armazenamento e processamento da informação). Os lógicos devem estar, desde o princípio, voltados ao tratamento metafísico (ce 3), evidenciando o raciocínio abstrato desejável ao controle no lugar do desenvolvimento heurístico. Já os materiais devem ser direcionados ao controle experimental (ce 9 a 12). Deve-se evitar assim, que da indevida agregação de ambos surja uma ênfase epistemológica e pedagogicamente reducionista, melhor indicada para a formação técnica e tecnológica (seção 4.5).

- 6) *Os laboratórios devem ser de controle e/ou de automação* – O currículo de engenharia costuma conter disciplinas de laboratório voltadas para a formação científica, com experimentos ligados à metrologia, à identificação de curvas e erros, e ao método científico. Estes temas podem ser perfeitamente abordados em laboratórios de controle e de automação (seção 4.4), que devem reger a formação experimental do curso (ce 9). Assim, os demais laboratórios devem ser ajustados ao controle, adaptando seus experimentos para torná-los partes da resolução de problemas de controle (ce 10 e 11), mesmo que rudimentares.
- 7) *A metodologia deve ser compreendida pelos professores e atender suas expectativas* – Uma metodologia própria para a engenharia de controle deve ser coerente com a epistemologia (modelo e corolários epistemológicos) e com a realidade pedagógica do curso (modelo pedagógico e questões transversais), além de atender expectativas do colegiado e respeitar os recursos disponíveis. Contudo, tais condições são insuficientes na transposição da metodologia para o ensino propriamente dito, a partir das técnicas aplicadas pelos professores nas diversas disciplinas do curso. Assim, os agentes devem compreender a metodologia do curso, suas motivações e seu contexto de fundamentação. Esta compreensão, em um processo de síntese curricular, permite que a metodologia atenda expectativas não somente coletivas, mas também particulares, com a melhor consciência individual do problema de ensino (controle da formação), seus modelos, bloqueios (perturbações) e estratégias (lógicas) de ação.

Estes corolários metodológicos complementam o sistema definido na seção anterior, reforçando a metodologia de formação da hipótese pedagógica 32 (“top-down”) e indicando princípios estratégicos para sua aplicação. Os seis primeiros estendem aspectos

metodológicos tratados anteriormente, com a necessidade da contínua ênfase no problema de controle, ajustando-se os conhecimentos para o amadurecimento de cognições que pensem o conhecimento em controle de forma sistêmica e generalista. O último, por sua vez, não aborda a epistemologia do controle e sua aprendizagem, mas o ensino (hp 3, 8 e 9), segundo a influência individual dos professores no enfoque metodológico da síntese curricular.

Considerando ainda a distinção da seção anterior, em formação intelectual e consolidação profissional, podem ser definidos dois eixos metodológicos centrais: o direcionamento do conhecimento “teórico” para a formação metafísica, própria do engenheiro de controle; e o projeto colaborativo de engenharia na resolução de problemas de controle para a consolidação profissional. Estes eixos estruturam o subprojeto metodológico, devendo apoiar-se na dinâmica pedagógica, a partir dos enfoques da síntese curricular. A seguir, depois de abordar a síntese curricular da formação em seus dois enfoques, determinantes na dinâmica pedagógica, são abordadas as etapas de revisão e maturação acessórias à formação.

## 5.2 REVISÃO COGNITIVA

De acordo com o modelo pedagógico (hipótese pedagógica 9), o ensino deve tratar as concepções prévias dos alunos *com e para* a formação planejada, podendo envolver aspectos positivos e negativos no diálogo pedagógico entre sujeito e meio. São positivos na apreensão de novos conhecimentos a partir dos já apreendidos, conforme tradicionalmente ocorre nas técnicas de ensino. É negativo com os bloqueios cognitivos e epistemológicos (hipóteses pedagógicas 7 e 8), que devem ser igualmente considerados na síntese curricular.

Uma formação bem estruturada, com modelos propícios, tenderá a minimizar o surgimento de bloqueios epistemológicos, mas ainda haverá bloqueios cognitivos formados anteriormente ao curso. A revisão destes *bloqueios prévios* é quase tão importante quanto a própria formação, pois eles sustentam aprendizagens alicerçadas sobre premissas cognitivas distorcidas. Os próprios professores estão sujeitos à influência de bloqueios prévios, neste caso denominados de *bloqueios didáticos*, e que podem ser gerados a partir de vários fatores, com destaque para os seguintes (já abordados anteriormente):

- Carência de bases pedagógicas e filosóficas – elas são mínimas na pós-graduação, prevalecendo o senso-comum de cada professor, o que dificulta o debate pedagógico.
- Formação em outras realidades – as técnicas docentes tendem a ser adaptadas a partir da própria formação, ainda que ocorrida em outras realidades de formação.

- Falta de referenciais racionais – a falta de referenciais pedagógicos, como os desta tese, promove de técnicas localizadas de ensino dissociadas de estratégias gerais de formação e que serão dogmatizadas em eventuais debates estratégicos de colegiado.
- Neutralidade técnica – A neutralidade cultural de áreas técnicas, promove a rejeição de temas não técnicos, tais como os enfoques social e metafísico da profissão.
- Excesso de atividades – Os efeitos dos fatores acima confundem a dinâmica docente, prejudicando o tratamento conceitualmente coerente e coletivamente consistente da problemática de formação; tendendo os professores ao engessamento burocrático da docência em prol da pesquisa e da administração institucional.

Os bloqueios didáticos são bastante relevantes na dinâmica pedagógica, pois influenciam a motivação docente e causam dificuldades à síntese curricular, além da possível burocratização também da aprendizagem. Uma metodologia de ensino de laboratório baseada no projeto, por exemplo, não será eficaz a partir de técnicas pedagógicas que reprimam as necessárias iniciativas dos alunos, conduzindo-os a atitudes burocráticas que não condigam com a prática da engenharia, que deve ser crítica e criativa. A reversão deste quadro envolve rupturas culturais importantes, com a revisão das concepções pedagógicas e epistemológicas dos professores (e/ou da revisão da formação de pós-graduação, solução bem mais complexa).

Além disso, os professores apresentam diferentes graus de comprometimento com a formação, com fatores subjetivos, ligados a motivações pessoais, e objetivos, ligados ao papel desempenhado (professor em controle ou não, agente estratégico etc.). E quanto menor o comprometimento, mais difícil será a revisão direta dos bloqueios didáticos, que dependerá ainda mais da qualidade da síntese curricular e dos modelos adotados.

Diante deste contexto, esta tese, a partir dos diversos temas históricos, sociais, epistemológicos, pedagógicos e profissionais ligados à engenharia de controle que aborda, serve tanto como referência direta à reversão individualizada dos fatores acima indicados, como de fonte para o planejamento e implementação de atividades coletivas de ruptura. Neste segundo aspecto, a tese pode auxiliar, além da própria pós-graduação, experiências como a do Núcleo de Estudos e Pesquisas em Educação Tecnológica – NEPET (Pereira et. al., 1998), através de um fórum permanente sobre a educação tecnológica e de cursos de formação docente, que podem ser adaptados para a revisão da docência em engenharia de controle.

Retornando ao escopo discente, os bloqueios prévios podem envolver aspectos intelectuais e profissionais de base, ligados respectivamente às concepções de controle e de engenharia descritas no segundo e terceiro capítulos, e que se mesclam na formação de um

profissional epistemologicamente mais complexo do que o oriundo das engenharias clássicas. De qualquer modo, em um contexto praticamente inexplorado, a engenharia de controle, esses bloqueios são normalmente confundidos com bloqueios epistemológicos do próprio curso. A busca da implementação de um projeto pedagógico efetivo para o curso, que tende a reduzir ou ao menos caracterizar os bloqueios internos, faz com que os bloqueios prévios dos alunos possam ser mais bem identificados, favorecendo a necessária evolução de uma síntese curricular também voltada para a revisão preparatória à formação, de modo a melhorar as condições individuais de apreensão das bases racionais e aplicadas do problema de controle.

Enquanto isto não ocorre, com a melhor diferenciação entre bloqueios prévios e internos do curso, podem ser tecidos alguns comentários preliminares sobre a revisão intelectual e profissional dos alunos, citando-se inclusive alguns casos ainda não integrados a modelos e estratégias particulares de formação.

Do ponto de vista intelectual, a epistemologia cartesiana da formação prévia influencia negativamente a apreensão da ontologia sistêmica, indicando a necessidade da sua introdução em perspectiva de revisão cognitiva no estágio inicial do curso. Por outro lado, a própria formação básica típica dos dois primeiros anos das engenharias já é uma formação de revisão do ensino secundário, buscando sua ruptura<sup>11</sup> em direção à graduação, como ocorre claramente na formação matemática clássica, onde a álgebra secundária é revisada em direção ao cálculo e à geometria analítica, e na física, até então sem uma fundamentação matemática aprofundada. Na engenharia de controle, pode-se citar o exemplo do Programa Avançado em Matemática (PAM) da UFSC, que promove uma revisão matemática mais drástica, embora ainda dissociada da semântica metafísica, pois igualmente não é específica para o curso, mas objetiva atender cursos em geral com requisitos avançados em matemática, como a própria licenciatura. O anexo E apresenta dados sobre alunos do PAM em período acompanhado pela tese no curso da UFSC (somente seis, insuficientes para indicações conclusivas), em moldes descritos na próxima seção, onde se pode verificar um melhor desempenho metafísico global, embora a posterior influência na introdução ao controle seja similar aos demais alunos.

A existência de uma ampla base de revisão para a graduação e de mais de uma década de formação prévia (ensino básico e secundário)<sup>12</sup> aponta o acesso dos alunos a uma extensa formação intelectual, que é ainda modulada pelos processos seletivos, especialmente na engenharia de controle, uma das mais procuradas. Por outro lado, tal densidade intelectual

---

<sup>11</sup> O ensino secundário e o superior demarcam uma histórica dualidade no ensino brasileiro.

<sup>12</sup> Existem sugestões inclusive para o aumento na formação prévia ao ensino superior.

prévia tende a gerar bloqueios epistemológicos, onde a dificuldade em promover revisões nos níveis anteriores, conforme terceiro capítulo, reforça a necessidade da revisão intelectual no curso. De qualquer modo, a própria coerência epistemológica do curso, defendida nesta tese, promove choques relevantes entre os bloqueios prévios dos alunos e os objetos de formação, devendo oferecer caminhos adequados de acomodação a esses conflitos cognitivos.

Do ponto de vista profissional, inexistente propriamente uma formação até o início do curso, com a forte influência de métodos pedagógicos tradicionais individualistas e burocráticos, com bloqueios prévios mais fortes que os intelectuais. A própria dinâmica pedagógica para a engenharia de controle envolve um caminho epistemológico que parte do desenvolvimento intelectual para sua aplicação<sup>13</sup>. Assim sendo, até a introdução efetiva da formação profissional, os correspondentes bloqueios prévios poderão ser inclusive reforçados pela formação intelectual. Diante deste contexto, como minimizar os bloqueios prévios ligados à engenharia mesmo antes da correspondente formação intelectual?

O tratamento dessa questão, aparentemente contraditória, é viabilizado ao se distinguir a profissão de engenheiro de controle em aspectos dependentes ou não da formação intelectual. De modo simples, os dependentes podem ser qualificados como os que refletem a substância do conhecimento em controle na sua engenharia, e os não dependentes como os que refletem a forma, ou seja, a dinâmica profissional aplicada ao respectivo conhecimento intelectual. Nesta direção, o projeto "de" e "para" o controle, as técnicas e diagramas ligados ao controle dependem de seu conhecimento, devendo-se manter a coerência epistemológica. Já as habilidades intrínsecas ao engenheiro em si, tais como espírito crítico, criatividade e habilidades interpessoais em soluções que respeitem fundamentos éticos e sociais mínimos (Rodrigues, 1999), podem ser livremente exercitadas, inclusive influenciando positivamente a motivação dos alunos, não devendo contudo reforçar ou originar outros bloqueios cognitivos.

Atualmente, o desenvolvimento de habilidades profissionais elementares, que envolve a própria conscientização dos alunos, vem sendo trabalhado em disciplinas de introdução à engenharia, já estando presente em três dos quatro cursos considerados nesta tese. O caso da UFSC, por exemplo, apresentado em Vallim et. al. (2000), aposta no projeto colaborativo como atividade integradora da prática profissional, através de kits de blocos automatizáveis LEGO™, e aborda diversas implicações técnicas, econômicas, sociais e éticas pertinentes. Assim, em uma perspectiva de revisão profissional, objetiva desenvolver uma compreensão inicial dos conceitos básicos da profissão, buscando a formação nas habilidades

---

<sup>13</sup> O contrário conduziria à formação técnica, conforme já abordado em diversos momentos desta tese.

necessárias ao engenheiro, além de introduzir os alunos à vida acadêmica e à própria realidade institucional do curso, com suas múltiplas alternativas de currículo complementar.

O modelo de ensino aplicado por Vallim et. al. (2000) foi balizado na aplicação das concepções prévias dos alunos, na zona de desenvolvimento proximal e, principalmente, na aprendizagem sintônica (Papert, 1985), sendo os bloqueios profissionais prévios chocados a uma nova perspectiva pragmática, em uma revolução cognitiva, conforme Zylbersztajn (1991), embora ainda sem bases racionais próprias. A dinâmica pedagógica adotada foi marcada pelos seguintes pontos: a) projetos representativos de casos reais, com papéis de “empresas”, “equipes de engenharia”, “consultores” e “clientes”, os dois últimos pelos próprios professores; b) aprendizado em grupo voltado para o domínio do software de programação e das técnicas de montagem, através de noções básicas de informática e programação, além de certa familiaridade com o idioma inglês (leitura dos manuais); c) metodologia de projeto baseada na prototipação; d) introdução de conceitos elementares como *sistema*, *controle* e *realimentação* para a montagem de unidades autônomas.

A observação pedagógica em Vallim et. al. (2000) demonstrou a catalisação da motivação e das habilidades individuais através das múltiplas lideranças desempenhadas pelos alunos, em uma prática colaborativa crítica e criativa, o que representa relevantes resultados de revisão profissional. Assim, disciplinas introdutórias, voltadas para a revisão de cognições ainda inexploradas profissionalmente pelo ensino, tendem a favorecer o desenvolvimento profissional dos alunos. Entretanto, algumas considerações relevantes devem ser realizadas em relação aos possíveis efeitos dessa revisão na formação intelectual e à necessidade de continuidade com a formação profissional, para o não ressurgimento de bloqueios cognitivos.

A desconsideração da formação intelectual no aspecto profissional, mesmo em sua revisão introdutória, pode promover a sedução dos alunos a uma formação intuitiva e/ou heurística, e apoiada na metafísica aplicada da informática, conforme já abordado. A falta de pressupostos intelectuais próprios da engenharia de controle quando da revisão profissional remete à busca de opções não conflitantes já presentes nas concepções prévias dos alunos. Nessa perspectiva, deve-se avaliar em que medida os softwares utilizados favorecem a síntese abstrata própria do projeto de controle, e em que aspectos essa síntese pode ser explicitada aos iniciantes no curso: com a introdução da ontologia sistêmica, de conceitos elementares ligados ao controle, da ênfase de aspectos funcionais sobre os materiais etc. Dentre os conceitos que podem ser trabalhados, inclusive também sob um enfoque revisional, podem estar os de *sistema*, *controle*, *controlador*, *sistema de regras*, *sistema controlado*, *sistema de controle*, *realimentação*, *perturbação*, *estabilidade*, *observabilidade*, *controlabilidade* e *erro*, dentre

outros, e que não devem estar presos ao paradigma clássico do controle, ainda desconhecido pelos alunos, mas proporcionarem a construção de uma perspectiva geral do controle.

No caso de Vallim et. al. (2000), os protótipos desenvolvidos representam importante objeto de análise epistemológica, pois, ao estarem técnica e afetivamente ligados aos alunos permitem a identificação de aspectos do conhecimento em controle que foram empregados inconscientemente, o que favorece a própria revisão intelectual. Neste contexto, a revisão profissional deve também conscientizar sobre a relevância de sólidas bases racionais, demonstrando as restrições das soluções intuitivas e/ou heurísticas geralmente decorrentes da prototipação, que não deve, assim, ser transformada em modelo de prática profissional.

O aluno deve ainda ser levado a refletir sobre seu papel profissional em relação aos demais níveis ligados ao controle aplicado, conforme abordado no capítulo anterior, onde diferenciais serão exigidos. É importante demonstrar que a distinção do engenheiro não está em sua capacidade intuitiva de projeto, mas na capacidade do domínio crítico e criativo de suas bases racionais, condição que não é externamente aparente em sua prática profissional, mas está implícita na necessária qualidade técnica, social e ética de seus projetos.

Em última análise, a revisão profissional não deve ser limitada a uma disciplina estanque, mas deve integrar-se à consolidação profissional; que se diferencia da revisão ao já promover a aplicação das bases racionais do próprio curso, especialmente as ligadas à sua dinâmica epistemológica. Nesta direção, Vallim et. al. (idem) coloca como perspectiva de seu trabalho um modelo de formação profissional não apenas introdutória, mas que aplique o projeto na integração de conhecimentos adquiridos no decorrer do curso, com estratégias para a conexão das bases racionais à prática profissional, gerando-se habilidades e experiências complementares à formação intelectual – exatamente conforme consolidação representada no terceiro grupo do sistema de corolários do enfoque epistemológico da formação.

Por outro lado, a revisão profissional deve ser acompanhada do envolvimento de toda a cadeia de formação intelectual, onde seus atores devem estar comprometidos com a posterior consolidação profissional dos conhecimentos apreendidos, que não se destinam à mera exposição acadêmica, mas à sustentação de engenheiros de controle. Deve-se ter, pois, uma estratégia implícita, durante toda a formação, de contextualização profissional das bases racionais e de reversão da participação discente acrítica e dogmática que costuma emergir dos níveis anteriores de formação, que se contrapõe à dinâmica profissional da engenharia.

Enfim, apesar da relativa qualidade dos alunos que geralmente ingressam nas engenharias de controle no Brasil, em função da elevada procura, é responsabilidade do curso revisar as cognições individuais para a incursão em uma área epistemologicamente complexa

e pedagogicamente carente de ajustes específicos (a adequada revisão é um deles). A revisão deve estar integrada à síntese curricular, preparando os alunos para a realidade de formação e promovendo a conscientização docente acerca dos bloqueios didáticos. De qualquer modo, um processo de revisão adequado requer que a própria formação esteja devidamente ajustada e modelada, possibilitando a distinção precisa entre os bloqueios prévios e os gerados dentro do próprio curso, a serem solucionados através do aprimoramento na própria formação. A falha nesta distinção pode gerar revisões desnecessárias (que já vêm ocorrendo) que incharão ainda mais a já concorrida estrutura curricular. Assim, o colegiado do curso deve promover a identificação dos bloqueios prévios de interesse, promovendo sua revisão em preparação para a formação (ensino, no caso dos professores). O projeto pedagógico desta tese favorece a realização de tais tarefas ao incluir a revisão em seu sistema pedagógico.

### 5.3 MATURAÇÃO

Conforme modelo pedagógico (hipótese pedagógica 4), a formação depende de esforço cognitivo na evolução das estruturas cognitivas. Assim, a maturação está diretamente ligada à formação intelectual, tendo na academia seu principal espaço de desenvolvimento. O amadurecimento cognitivo profissional, por sua vez, está ligado à própria experiência profissional, sendo o curso limitado para a representação de todas as variáveis próprias da engenharia, muitas inclusive de natureza intuitiva. De qualquer modo, esta maturação profissional pode ser tratada em algum grau nos laboratórios de automação.

A maturação intelectual é buscada no ensino através de técnicas aplicadas pelos professores, que costumam complementar a formação com atividades de consolidação, como os exercícios de fixação e a simulação. Infelizmente, estas técnicas não costumam ser suficientes para a apreensão integral dos conhecimentos pelas estruturas individuais, cada qual com sua dinâmica própria de aprendizagem. Este fator é reforçado na engenharia de controle, onde a densidade de seus conhecimentos remete à aceleração da formação e à limitação do espaço para a posterior maturação cognitiva.

Diante deste processo, quando a imaturidade na formação se mostra relevante, claramente bloqueando alguma formação subsequente, costumam ser executadas revisões posteriores assentadas na premissa da cognição individual enquanto memória, concepção incoerente com o modelo pedagógico do terceiro capítulo e com a Teoria da Cognição de Santiago (Anexo A.6). Assim, do ponto de vista das cognições individuais, o conhecimento

acaba sendo apreendido em algum grau geralmente parcial em seu ensino e posteriormente “relembrado”, sem efetivamente evoluir sua maturação cognitiva (apenas incidentalmente).

Nos demais casos, quando bloqueios decorrentes da apreensão parcial de certos conhecimentos não impedirem, mas apenas dificultarem o entendimento preliminar das etapas posteriores de formação, tende-se a impor as deficiências do processo aos próprios alunos, que deverão buscar a maturação faltante externamente. Assim, tal maturação acaba ocorrendo em estágios, projetos finais de curso, atividades de pesquisa e extensão, ou mesmo após o curso, na pós-graduação ou no próprio exercício profissional, com a evidente possibilidade de mesmo nunca ocorrer em alguns temas, independentemente da relevância. Neste contexto, a solução aos escassos espaços de maturação na aprendizagem são alternativas não diretamente ligadas à concorrida formação que promovam a maturação dos conhecimentos mesmo após o término de seu ensino, onde já devem ter sido apreendidas bases mínimas de interpretação.

Até recentemente, a maturação cognitiva deveria ocorrer de forma autônoma, através basicamente da releitura das bibliografias e da repetição de atividades complementares durante a formação, sendo as deficiências neste processo o motivo da culpabilidade acima indicada para os alunos. No entanto, com o aumento das atividades extracurriculares, tratado no terceiro capítulo, a maturação acaba sendo dificultada e, por não envolver avaliação direta, menosprezada, enfraquecendo a aprendizagem e burocratizando negativamente as etapas subsequentes, em aproximação ao “ritual de passagem para o diploma”. E quando a apreensão efetiva de algum conhecimento for posteriormente requerida, surgirá uma descontinuidade cognitiva que também prejudicará a maturação, gerando um círculo vicioso. Uma boa síntese curricular pode reduzir tais descontinuidades, mas ainda permanecerão a densidade curricular e o excesso de atividades, acima citados.

A capacidade individual de maturação cognitiva confunde-se com a própria capacidade de “auto-aprendizado”, que para Bermudez (1999, p. 73) requer a ênfase prévia no ensino dos conceitos básicos (bases mínimas de compreensão acima indicadas), e não de tecnologias de ponta. Por outro lado, Antsaklis (1999, p. 57), em uma posição aparentemente antagônica, defende que a tecnologia da informação deve promover a troca de informações criando um repositório centralizado para materiais pedagógicos, que devem incluir tutoriais, exercícios, estudos de caso, exemplos e histórias, bem como materiais de laboratório. Esse antagonismo pode ser compreendido a partir da ausência explícita da etapa de maturação no debate pedagógico. Considerada esta etapa como ponto de partida, ela depende de uma formação conceitualmente sólida (Bermudez, 1999), sendo formulada a partir da tecnologia da informação (Antsaklis, 1999), com diversos aspectos ligados ao seu uso pedagógico tendo

sido abordados no quarto capítulo (seção 4.2). Para uma maturação integrada, inclusive em aspectos profissionais pertinentes, a tecnologia da informação não deve somente facilitar o acesso aos dados, em bibliotecas virtuais isoladas, mas também contextualizá-los, em uma tarefa pouco enfatizada na concorrida formação, que costuma se limitar aos aspectos imediatos do conhecimento. Procurando atender esta condição, Rodrigues (2002a) apresenta a abordagem *concepts-on* para maturação da formação em engenharia de controle, em que a tecnologia da informação sustenta uma academia virtual de controle onde o conhecimento da comunidade local deve ser abstraído e evoluído de forma integrada para referenciar a maturação dos alunos. A rede conceitual dessa academia é baseada no vínculo epistemológico de “itens de conhecimento”, em relações de reciprocidade e dependência (Bunge, 1985, p. 102, evidencia a relevância epistemológica dessas relações).

Os itens de conhecimento não se limitam ao conhecimento propriamente dito, realizando também a contextualização histórica, acadêmica, social e cognitiva (bloqueios) dos conhecimentos. Em direção à complementação pedagógica, incluem ainda: indicação de bibliografias, problemas e técnicas pedagógicas complementares; *exemplares* (Kuhn, 1975) que demonstrem sua operacionalização (embora com riscos epistemológicos); e casos de simulação, que aproximam a intuição da base racional, já ensinada.

A estrutura da academia de controle envolve a promoção de uma dinâmica de desenvolvimento contínuo, em paralelo à própria síntese curricular, com refinamentos e extensões realizados pela comunidade local. Um professor pode, por exemplo, introduzir um item de conhecimento sobre “Otimização  $H^\infty$ ”, enquanto outro inclui seus aspectos históricos, outro indica sua aplicabilidade, e assim por diante, em um processo de evolução que, se devidamente conduzido, tende a refletir em regime permanente a síntese dos conhecimentos individuais, revertendo a perspectiva de conhecimentos estanques em disciplinas isoladas, favorecendo a maturação e servindo de referencial pedagógico para os professores, especialmente os mais distantes do núcleo epistemológico do curso.

A integração epistemológica da academia virtual de controle pode ser também pedagógica, tendo como base as diferentes disciplinas “estanques” da estrutura curricular, através de elementos como: virtualização das ementas a partir dos itens de conhecimento; calendário e planejamento de atividades; indicação de referências externas gerais; e definição de um contrato pedagógico que evidencie as relações de ensino e aprendizagem e as técnicas pedagógicas aplicadas. A integração pedagógica não deve interferir na epistemológica, na mesma relação de precedência dos modelos desta tese, podendo, por outro lado, sustentar a integração de projetos pedagógicos não virtuais às bases epistemológica e pedagógica.

Se a integração epistemológica permite a contextualização dos conhecimentos em controle na comunidade local, a integração pedagógica permite visualizar a estruturação de tais conhecimentos, auxiliando no planejamento da formação e na própria maturação, inclusive dos professores. Assim, estes podem, por exemplo, obter subsídios para a síntese curricular nas relações entre as ementas virtuais, identificando sobreposições na formação e espaços relevantes não atendidos adequadamente. Os alunos, por sua vez, podem revisar pré-requisitos, identificar bloqueios prévios e manter autonomamente o diálogo de aprendizagem com conhecimentos ainda não adequadamente apreendidos. A maturação da formação sustentada na tecnologia da informação defendida em Rodrigues (2002a) possibilita, deste modo, a integração de estratégias de revisão, formação e maturação.

A abordagem “concepts-on” foi implementada através da “Escola Virtual de Controle” (EVC)<sup>14</sup>; “de Controle” por envolver a integração epistemológica acima indicada, na academia de controle; “Escola” pela correspondente integração pedagógica; e “Virtual” por complementar a formação de uma escola real de controle. A EVC, descrita em Rodrigues (2002b), foi aplicada na disciplina de Sinais e Sistemas Lineares do curso da UFSC, e que representa a fronteira entre a formação própria das engenharias clássicas e alguma formação em controle, embora geralmente clássica. Uma amplitude maior de aplicação envolveria o enfrentamento de bloqueios culturais, especialmente docentes, relacionados ao aumento na carga de atividades – mesmo considerando-se que a maturação autônoma dos alunos tende a reduzir os esforços docentes ao possibilitar uma pedagogia mais consistente. Além disso, a aplicação ampliada elevaria esforços e resultados, dificultar a implementação e a avaliação.

De qualquer modo, a EVC manteve a precedência da academia de controle sobre a disciplina, tendo aquela incluído inúmeros itens de conhecimento não ensinados nesta, mas relacionados a conhecimentos prévios e subsequentes, inclusive conceitos básicos como *Controle*, *Realimentação* e *Sistema de Controle*. Aos itens de conhecimento adicionaram-se diversas informações relativas à comunidade de controle, tais como eventos e periódicos, possibilitando a aplicação de técnicas pedagógicas ligadas à pesquisa (Rodrigues, 2002a). A integração pedagógica, por sua vez, foi possibilitada a personalização das informações, com indicativos de frequência e desempenho, além de listas de discussão e fóruns de pesquisa.

Seguindo a perspectiva integradora, os contextos epistemológico e pedagógico são complementados com outros três: profissional, institucional e social. O profissional com informações de interesse profissional, tais como as entidades de regulação da profissão e suas

---

<sup>14</sup> Acessível no endereço eletrônico <http://hai8.hipernet.ufsc.br>.

principais normas, e oportunidades profissionais. O contexto institucional integra informações sobre a instituição e a engenharia de controle, incluindo, por exemplo, o acesso a informações sobre os demais cursos no Brasil. Estes dois incluem, deste modo, uma série de informações relacionadas a seus objetos que se mostram relevantes à maturação da formação global dos futuros engenheiros de controle. O contexto social, por sua vez, traz um amplo conjunto de informações sobre diversos tópicos não ligados diretamente ao processo de formação.

A EVC foi aplicada em quatro semestres subseqüentes, de 2001/2 a 2003/1, objetivando neste contexto específico, resgatar os alunos de dois anos de ensino deficitário em matemática (ver Dorato, 1999; Bissell, 1999b), ao proporcionar sua maturação em direção ao conhecimento em controle, tradicionalmente introduzido na disciplina. Este não é o contexto de formação ideal para a aplicação de tal estrutura de maturação, que deveria subsidiar um contexto epistemológica e pedagogicamente melhor ajustado, com uma reduzida necessidade de maturação, que deveria avançar sobre instâncias mais próximas da consolidação intelectual e profissional. Enquanto esta realidade não ocorre, a EVC demonstra a influência positiva da maturação, a qual ainda se processa em um sentido até certo ponto revisional.

A EVC não foi aplicada a todos os alunos, mas apenas aos que se dispuseram a utilizá-la, tendo uma mesma turma alunos participantes e não participantes, que serviram como controle. O professor responsável foi o mesmo, com uma equivalência nas técnicas pedagógicas adotadas nas turmas. Os alunos que já haviam sido reprovados na disciplina foram tratados separadamente, pois já tendo passado pelo ensino propriamente dito, poderiam ter bloqueios específicos que seriam revisados, em uma função alternativa. A tabela 4 indica o quantitativo de alunos participantes, com dois critérios: um considerando a inscrição, e outro os inscritos no primeiro quarto do semestre (25%), que utilizaram a EVC desde o primeiro momento. Os resultados completos da aplicação da EVC estão no Anexo D.

	Repetentes	2001/2	2002/1	2002/2	2003/1	Total
Inscritos	8	15	27	11	9	70
Não Inscritos	7	5	8	8	21	49
Inscritos até 25%	4	13	21	9	9	56
Não Inscritos até 25%	11	7	14	10	21	63
Total	15	20	35	19	30	119

Tabela 4 – Participantes da EVC em Sinais e Sistemas Lineares

As tabelas 5 e 6 apresentam os resultados quantitativos globais, a primeira não considerando os repetentes. O currículo específico envolve as disciplinas diretamente ligadas ao conhecimento em controle abordado na disciplina, conforme se pode verificar no Anexo D.

	Currículo Geral		Curríc. Espec.		Sinais e Sist.		Delta	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Geral	Espec.
Inscritos na EVC	7,81	0,71	7,73	0,86	6,88	1,43	-0,93	-0,86
Não Inscritos na EVC	7,53	0,86	7,47	0,86	5,80	2,29	-1,74	-1,68
Inscritos / Não Inscritos	1,04	–	1,03	–	1,19	–	–	–
Inscritos na EVC (25%)	7,87	0,73	7,78	0,91	7,12	1,33	-0,76	-0,67
Não Inscritos (25%)	7,53	0,81	7,48	0,80	5,77	2,14	-1,76	-1,71
Inscritos / Não Inscritos	1,05	–	1,04	–	1,23	–	–	–
Total	7,70	0,79	7,63	0,87	6,44	1,91	-1,26	-1,19

Tabela 5 – Resultados Quantitativos Sem Repetentes

	Currículo Geral		Curríc. Espec.		Sinais e Sist.		Delta	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Geral	Espec.
Inscritos na EVC	7,72	0,77	7,63	0,93	6,77	1,46	-0,95	-0,86
Não Inscritos na EVC	7,48	0,86	7,41	0,92	5,86	2,16	-1,62	-1,55
Inscritos / Não Inscritos	1,03	–	1,03	–	1,16	–	–	–
Inscritos na EVC (25%)	7,82	0,73	7,71	0,91	7,08	1,31	-0,74	-0,63
Não Inscritos (25%)	7,45	0,84	7,38	0,92	5,79	2,01	-1,66	-1,60
Inscritos / Não Inscritos	1,05	–	1,04	–	1,22	–	–	–
Total	7,62	0,82	7,54	0,94	6,39	1,84	-1,22	-1,14

Tabela 6 – Resultados Quantitativos da Aplicação da EVC

A tabela 7 apresenta índices comparativos entre inscritos e não inscritos, com ou sem os repetentes, e considerando ou não somente os inscritos no primeiro quarto do semestre. Enquanto o primeiro índice é absoluto, podendo conter distorções ligadas à tendência da inscrição pelos melhores alunos, os outros são relativos, comparando-se o resultado com os próprios desempenhos anteriores. O *delta* verifica a diferença entre a média da disciplina e as anteriores, enquanto a razão indica o acréscimo percentual de desempenho dos inscritos em relação aos não inscritos, para cada um dos casos possíveis de comparação.

	Diferença Média	Diferença Delta Geral	Diferença Delta Espec.	Razão Geral	Razão Espec.
Inscritos (25%) exceto Repetentes	1,35	1,00	1,04	17,1%	18,3%
Inscritos (25%)	1,29	0,92	0,97	16,2%	17,3%
Inscritos exceto Repetentes	1,08	0,81	0,82	14,4%	15,5%
Todos os Inscritos	0,91	0,67	0,69	12,6%	12,6%

Tabela 7 – Índices Comparativos

Pode-se verificar que os alunos inscritos tinham desempenho anterior de 3 a 5% superior aos demais, passando esta diferença para cerca de 20% na EVC. Esta distinção é evidenciada pelo melhor desempenho dos alunos que utilizaram a EVC na maturação desde o princípio do semestre. Também se verificou um menor desvio padrão para os alunos inscritos, refletindo a maior consistência epistemológica oferecida.

Por outro lado, a tecnologia empregada não permitiu verificar o exato grau de utilização da EVC. Entretanto, pesquisa presencial realizada na primeira turma (em 18 dos 23 inscritos), indicou uma utilização média de 35 minutos semanais em um a três acessos no período (os itens de conhecimento podem ser impressos), estimando-se que estes valores aumentavam na proximidade das avaliações, em acordo com a cultura acadêmica vigente.

De qualquer modo, pode-se verificar conclusivamente que o uso da tecnologia da informação na maturação favorece o melhor desempenho qualitativo, o que tende a se refletir nos aspectos qualitativos da aprendizagem, em função da interação mais consistente com o conhecimento em controle através da tecnologia da informação. Copinga et. al. (2000) obteve resultados semelhantes ao aplicar a tecnologia da informação no apoio pedagógico de uma disciplina, embora em uma espécie de aprendizagem programada e em uma única turma, comparando-a com a anterior e desconsiderando o desempenho anterior dos próprios alunos. Favoreceu, assim, distorções provocadas pelas diferenças entre as turmas e os alunos.

A implementação da EVC não dependeu de recursos humanos adicionais e da adaptação de alguma tecnologia, utilizando-se as disponíveis na própria UFSC. Também não houve envolvimento direto dos professores ou do curso, com a EVC sendo aplicada a somente uma disciplina, o que reflete suas contribuições pedagógicas apenas parcialmente, pois em uma perspectiva mais ampla de maturação, a EVC é mantida acessível aos alunos já inscritos, mesmo após o término da formação, em um processo de maturação continuada. Demonstra-se assim que os recursos envolvidos não são maiores que para soluções isoladas. Além disso, a unicidade epistemológica garante resultados pedagógicos mais consistentes, ao passo que a unicidade informacional reduz a replicação de esforços.

Contudo, para a melhor consolidação destas potencialidades é necessário que o curso oficialmente ampare um projeto unificado de maturação da formação, devidamente apoiado na tecnologia da informação, e que evolua em conformidade com a própria síntese curricular, considerando as necessidades dos agentes de ensino e dos alunos, além evidentemente de respeitar o contexto epistemológico de formação. A EVC não se propõe a representar tal projeto, tratando-se de uma aplicação experimental com objetivos meramente acadêmicos.

A experiência da EVC sugere, de qualquer modo, a relevância que a maturação da formação pode ter se bem implementada (a qualidade na implementação não foi o principal objetivo da EVC). Por outro lado, sua abordagem, “*concepts-on*”, ao decorrer dos modelos desta tese, há de ser considerada em quaisquer projetos para a maturação integrada da formação em engenharia de controle.

## 5.4 APLICAÇÃO

O modelo para a engenharia de controle compõe, juntamente com a questão da síntese curricular, um projeto pedagógico para o curso baseado na natureza epistemológica do conhecimento envolvido e na realidade profissional da engenharia. Contudo, como ressaltado em diferentes momentos deste capítulo, o planejamento e a implantação inerentes a tal projeto competem às instâncias locais em conformidade com os recursos e restrições existentes.

Não é, portanto, objetivo deste trabalho, oferecer soluções definitivas e auto-aplicáveis, mesmo porque o problema abordado, a formação em engenharia de controle, envolve múltiplas cognições e uma complexidade de fatores bem superior à geralmente abordada em problemas clássicos de engenharia. É nesta direção que o tratamento dado por esta tese ao problema em questão não envolveu a busca direta por uma solução padrão, mas sua modelagem para a indicação de estratégias e condições gerais a serem respeitadas, através dos modelos e demais contribuições deles decorrentes.

De qualquer modo, é razoável indicar alguns procedimentos que poderão compor qualquer planejamento decorrente desta tese para a engenharia de controle no Brasil, independentemente dos fatores e das políticas locais para o curso:

- realização de rápidas apresentações sobre temas epistemológicos e pedagógicos ligados ao curso no início ou no encerramento das reuniões do colegiado;
- preparação de textos direcionados aos departamentos de serviço, indicando o seu papel dentro da realidade diferenciada do curso;
- respeito às cognições individuais dos alunos, disponibilizando desde o começo uma perspectiva geral do controle e de sua engenharia que permita a maturação de uma intelectualidade sistêmica e aberta à generalidade do problema de controle;
- síntese curricular que busque uma estrutura pautada na dinâmica epistemológica do controle (apreensão, tratamento metafísico, suporte material e aplicação);
- avaliação continuada dos resultados de aprendizagem, com o ajuste dos modelos, identificando-se bloqueios prévios e epistemológicos dos atores do processo;
- projeto e implementação de uma estrutura integrada de apoio ao amadurecimento cognitivo de alunos e professores em torno do conhecimento em controle;
- estruturação da formação matemática, lógica, científica e tecnológica em função da resolução do problema de controle no nível intelectual próprio da engenharia;

- enfim, a observação dos diferentes aspectos abordados neste capítulo, como os referentes aos controles experimental e aplicado, e de outros que decorram do modelos para a engenharia de controle apresentado neste documento.

Ressalte-se, por último, que não se pode, num trabalho em tese, detalhar as perspectivas de concretização, em uma conduta que levaria a soluções limitadas e artificiais, alheias às realidades cultural e pedagógica da instância local, e que dificilmente seriam implementadas de fato. O processo da síntese curricular, ao contrário, depende da contínua conscientização de **todos** os atores do processo, sendo este trabalho um importante referencial para tanto.

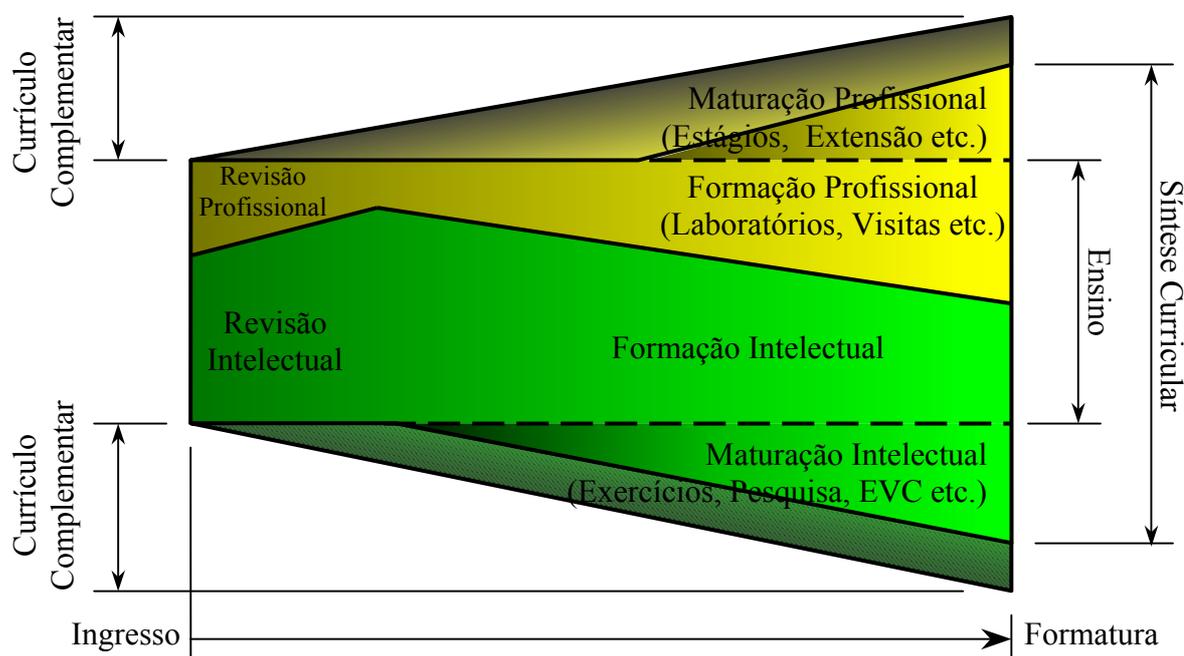
## 5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo abordou a questão da síntese curricular do ensino a partir dos modelos desta tese, completando um projeto pedagógico para a engenharia de controle, ilustrado na figura 2. Buscou, neste caminho, a indicação de referenciais gerais consistentes que sustentem a formação de engenheiros de controle em perfis localmente definidos, mas que estejam em consonância com a natureza epistemológica do controle, não corrompendo a essência de sua engenharia, conforme terceiro capítulo, e favorecendo a formação de profissionais que dominem a resolução de problema de controle em geral e que possam consolidar uma massa pensante no Brasil.

Inicialmente, foi abordada a formação a partir de seus enfoques epistemológico e metodológico, de onde resultou um sistema de corolários voltado para o desenvolvimento social e intelectual, e para a consolidação profissional do futuro engenheiro de controle. Em paralelo ao tratamento estratégico da formação, e a partir do modelo pedagógico, que a definiu como processo individualizado, não instantâneo, e catalisado pelo ensino em direção à aprendizagem planejada, concluiu-se pela necessidade de dois estágios acessórios à formação: a revisão cognitiva prévia (preparação) e a maturação da aprendizagem, mesmo após o ensino. Esses estágios foram abordados segundo esta tese, com a indicação de estratégias desejáveis a serem aplicadas, inclusive para a revisão docente (a maturação docente é dada pela própria experiência pedagógica e pela pesquisa adequadamente contextualizada). Por outro lado, concluiu-se que a existência de deficiências na formação ofusca a definição e o ajuste da revisão e da maturação, que acabam tendo esforços adicionais e se confundindo entre si, de modo que dependem da qualificação da síntese curricular da formação.

Após a definição de corolários epistemológicos e metodológicos de formação, e após abordar os complementos de revisão e maturação, pode-se apresentar uma visão complementar da síntese curricular, que não a aborde segundo seus referenciais (modelos e resultados pedagógicos), conforme figura 2, mas sob o ponto de vista da realidade de formação, que é seu campo de atuação.

Assim, a figura 3 apresenta um esquema qualitativo da síntese curricular em relação aos currículos de ensino e complementar, onde ilustra seu desenvolvimento durante o curso em termos dos conceitos de formação, revisão e maturação, tanto do ponto de vista profissional quanto intelectual. Pode-se observar a precedência temporal que deve ser dada à questão da revisão sobre a formação propriamente dita, onde é desejável uma minimização prévia dos bloqueios. A maturação, por sua vez, está vinculada a elementos complementares ao ensino, envolvendo aspectos profissionais e intelectuais, cabendo ressaltar, contudo, que ocorre alguma maturação intelectual nos estágios e na extensão, por exemplo, assim como há alguma maturação profissional em qualquer interação envolvendo problemas de engenharia, seja em exercícios, na pesquisa, em ambientes apoiados na tecnologia da informação etc.



**Figura 3** – Esquema Qualitativo da Síntese Curricular

Neste contexto, cabe aos agentes locais da dinâmica pedagógica, aqui tratados na figura do colegiado do curso, compreender os modelos deste trabalho e a correspondente síntese curricular, apresentada neste capítulo, para a qualificação do ensino e a conseqüente qualificação da aprendizagem em engenharia de controle. É necessário ainda que a síntese curricular implementada não se envolva apenas com o ensino propriamente dito, mas busque

atuar ativamente sobre outros elementos ligados à formação, especialmente no tocante a uma maturação que não esteja ausente do debate pedagógico, mas que propicie uma melhor consolidação profissional e intelectual dos futuros engenheiros de controle. Assim, é desejável que se busque a ampliação do alcance da síntese curricular, integrando todos os aspectos relevantes de formação, os quais procurou-se abordar nesta tese.

Enfim, o grande objetivo da síntese curricular é aprimorar os resultados de aprendizagem, frente a realidades institucionais, pedagógicas, sociais e mesmo epistemológicas, em constante mutação. Seu estudo é relevante, no contexto desta tese, para integrar os diversos elementos de interesse na busca de uma perspectiva de atuação dos modelos desta tese sobre a realidade pedagógica a ser controlada; em seus aspectos sociais, intelectuais e profissionais, devidamente relacionados entre si.

A implementação deste sistema de controle pedagógico, com algumas sugestões preliminares indicadas na seção anterior e cujo projeto geral descrito nesta tese requer o posterior planejamento e implementação pelo colegiado do curso, depende de um exercício coletivo de ideais geralmente condicionados por pressões de pesquisa e administração. Além disso, conforme Bermudez (1999, p. 69) sintetiza com precisão:

*“O sistema universitário não tem a agilidade necessária para mudanças repentinas de rumo. A multiplicidade de linhas de pensamento existente na sociedade acadêmica exige longos debates para que uma nova direção seja adotada. A estrutura de poder é fraca e requer o convencimento da maioria para a implantação de novas políticas, estratégias e diretrizes.”*

De qualquer modo, o contexto normativo que se tem atualmente, com a flexibilização das amarras curriculares, incentiva a busca de mudanças de rumo outrora engessadas, necessitando para tanto de bases racionais próprias, devidamente vinculadas à realidade em questão, e não somente de referenciais educacionais difusos e semanticamente distantes da comunidade de interesse. Fornecer estas bases para a comunidade nacional de controle interessada no seu ensino é o principal objetivo desta tese, e que foi completado (no contexto do trabalho) com as contribuições deste capítulo.

## 6 CONCLUSÕES FINAIS

O principal objetivo deste capítulo de encerramento da tese é delinear suas contribuições, destacando aspectos de originalidade, relevância e não trivialidade. Assim, não se pretende aqui repetir as mesmas considerações dos capítulos anteriores, mas sistematizá-las conclusivamente, salientando ainda perspectivas de continuidade.

### 6.1 O OBJETO E A QUESTÃO CENTRAL DA TESE

Antes de tecer conclusões relacionadas à tese, é prudente resgatar seu objeto e sua questão central, que a balizaram. O objeto é a formação em engenharia de controle no Brasil, sendo motivadas nas razões citadas no primeiro capítulo. Sua amplitude e a carência de estudos aprofundados levam a uma questão central geral que integre os aspectos relevantes em um primeiro estudo, dentro de um enfoque próprio de uma tese de doutorado. Este compromisso estratégico está implícito na seguinte questão, definida no primeiro capítulo:

*Que modelos epistemológico e pedagógico caracterizam a formação em engenharia de controle no Brasil e, por extensão, poderiam sustentar o desenvolvimento da síntese curricular e de métodos pedagógicos próprios?*

A tese consiste, assim, na proposição de modelos epistemológico e pedagógico próprios à engenharia de controle no Brasil, que poderiam sustentar um processo amadurecido de síntese curricular, com indicações objetivas à conseqüente definição de uma metodologia específica. Envolveu, assim, a síntese de aspectos epistemológicos e pedagógicos, com um entendimento amplo da realidade modelada, objeto da tese, além de, em contrapartida, fornecer bases racionais para estudos posteriores, também gerais ou mesmo pontuais.

A extensão da tese em direção à síntese curricular e a métodos próprios para a engenharia de controle introduziu perspectivas de ação concreta, evitando reducionismos ou

distorções em estudos posteriores. Além disso, esta ênfase adicional, possibilitou que este trabalho fosse propositivo, embora respeitando a instância efetivamente responsável pela engenharia de controle, o colegiado, e as demais instâncias que o circundam (departamentos, por exemplo). Algumas questões concretas não diretamente ligadas à síntese curricular foram também abordadas, no quarto capítulo, enriquecendo a compreensão do objeto da tese.

## 6.2 A SÍNTESE

Abordar o tema educação em uma pós-graduação de engenharia é uma tarefa não trivial que envolve o choque de culturas acadêmicas diferenciadas. Para evitar possíveis armadilhas nesta tarefa, a tese foi balizada no rigor conceitual para a introdução no seio da engenharia de noções das ciências humanas e da filosofia, fundamentais para os modelos propostos. A coerência conceitual foi apoiada na epistemologia realista de Mario Bunge, que inclui a própria tecnologia, e em temas já relativamente consolidados em epistemologia e pedagogia. Dentre tais temas, podem ser destacados a própria metafísica [científica] de Mario Bunge, pedra fundamental do modelo epistemológico, e a Teoria da Cognição de Santiago (Anexo A.6), que introduz o modelo pedagógico. Alguns conceitos adicionais foram tratados no Anexo A, indicando-se claramente as concepções adotadas neste trabalho.

Além do choques de culturas acadêmicas, a relevância do rigor conceitual foi reforçada pela carência de uma bibliografia bem estruturada em torno da questão pedagógica, sendo a esparsa bibliografia de apoio citada na medida de sua conexão ao tema. A resolução da questão da tese envolveu, assim, um desenvolvimento baseado na evolução conceitual, passando pelo desenvolvimento dos modelos em direção a aspectos concretos da formação, de modo a facilitar o acompanhamento intelectual e a reversão de eventuais bloqueios prévios.

O desenvolvimento da tese iniciou com o estudo da epistemologia do controle, envolvendo tanto a concepção ideal (conceito e natureza) quanto a concepção historicamente vinculada às engenharias, apoiada na tecnologia. Deste estudo surgiu o sistema de hipóteses gerais, indicadas abaixo, constitutivo de um modelo epistemológico para a engenharia de controle, que sustenta o posterior tratamento pedagógico, substituindo modelos tácitos que vêm sustentando a produção bibliográfica e o desenvolvimento pedagógico na área.

**Hipótese 1:** *As teorias de controle são metafísicas.*

**Hipótese 2:** *O conhecimento em controle é metafísico.*

**Hipótese 3:** *A ontologia do conhecimento em controle é sistêmica.*

- Hipótese 4:** *A matemática e a lógica sustentam o conhecimento em controle.*
- Hipótese 5:** *O conhecimento em controle difere da ontologia sistêmica ou metafísica científica em sua finalidade.*
- Hipótese 6:** *As teorias do concreto e o suporte material intermediam a relação do controle com sua finalidade, definindo sua dinâmica epistemológica.*
- Hipótese 7:** *As teorias do concreto são o objeto do controle.*
- Hipótese 8:** *O desenvolvimento tecnológico tende à aproximação epistemológica ao controle.*
- Hipótese 9:** *O senso-comum tem modelado o conhecimento em controle como científico e/ou tecnológico.*
- Hipótese 10:** *O controle clássico é o paradigma do conhecimento em controle.*
- Hipótese 11:** *As teorias de controle apresentam dois níveis de justificação.*
- Hipótese 12:** *O controle experimental justifica as teorias de controle.*
- Hipótese 13:** *O controle aplicado difere do experimental na finalidade.*
- Hipótese 14:** *O controle experimental e o aplicado não são controle stricto sensu.*
- Hipótese 15:** *Os controles experimental e aplicado têm forte influência na comunidade do controle automático.*
- Hipótese 16:** *A automação decorre diretamente do controle aplicado.*

A este modelo seguiu-se um estudo pedagógico sobre a engenharia de controle, que resultou em um sistema de hipóteses constitutivo de um modelo pedagógico geral, indo desde aspectos elementares de aprendizagem até princípios para a formação em controle:

[*Hipóteses Pedagógicas Gerais*]

- Hipótese 1:** *A aprendizagem é um processo interno que decorre do diálogo entre o indivíduo e o meio.*
- Hipótese 2:** *As concepções prévias do indivíduo interferem no aprendizado.*
- Hipótese 3:** *O ensino é o condutor consciente do diálogo de aprendizagem.*
- Hipótese 4:** *O ensino e a aprendizagem envolvem esforço cognitivo.*
- Hipótese 5:** *O ensino formal ou escolar está focado na formação intelectual.*
- Hipótese 6:** *A intuição complementa a razão no ensino intelectual.*
- Hipótese 7:** *O aprendizado pode produzir bloqueios cognitivos.*
- Hipótese 8:** *O ensino formal pode produzir bloqueios epistemológicos.*

**Hipótese 9:** *O ensino deve considerar as concepções prévias dos indivíduos.*

**Hipótese 10:** *A ação do meio sobre o indivíduo é cada vez mais intensa.*

**Hipótese 11:** *A tecnologia da informação é um meio.*

[*Ensino de Engenharia*]

**Hipótese 12:** *O ensino da engenharia objetiva a tecnologia aplicada e suas bases racionais para a resolução de problemas de engenharia.*

**Hipótese 13:** *O pragmatismo é a ideologia da engenharia.*

**Hipótese 14:** *O conhecimento compartimentalizado em núcleos ciência-tecnologia é o paradigma epistemológico da engenharia.*

**Hipótese 15:** *O conhecimento metafísico origina as engenharias de sistemas.*

**Hipótese 16:** *O paradigma epistemológico da engenharia acarreta bloqueios às engenharias de sistemas.*

[*Realidade do Ensino de Engenharia de Controle*]

**Hipótese 17:** *A engenharia de controle é o caso típico de engenharia de sistemas.*

**Hipótese 18:** *É aplicada à engenharia de controle a mesma linha epistemológica das engenharias clássicas.*

**Hipótese 19:** *A confusão de ciência e metafísica produz bloqueios epistemológicos.*

**Hipótese 20:** *A confusão entre teoria de controle e controle experimental produz bloqueios epistemológicos.*

**Hipótese 21:** *A não distinção entre controle experimental e aplicado inibe a percepção do papel do primeiro.*

**Hipótese 22:** *As teorias metafísicas tendem a ser esvaziadas.*

[*Princípios para o Ensino de Engenharia de Controle*]

**Hipótese 23:** *É necessária a definição de princípios para uma pedagogia própria para a Engenharia de Controle.*

**Hipótese 24:** *O ensino de controle não deve ser fragmentário.*

**Hipótese 25:** *O modelo epistemológico deve ser evidenciado.*

**Hipótese 26:** *A ontologia sistêmica precisa ser ensinada.*

**Hipótese 27:** *O ensino de matemática deve ser reformulado.*

**Hipótese 28:** *A lógica deve ser abstraída da informática e integrada à matemática.*

**Hipótese 29:** *Deve-se caracterizar a interface com ciências particulares.*

**Hipótese 30:** *O controle experimental deve ser utilizado como tal.*

**Hipótese 31:** *Os alunos devem aplicar o controle.*

**Hipótese 32:** *O conhecimento deve ser abordado do conjunto para os detalhes.*

Esse modelo, ao mesmo tempo em que representa em linhas gerais da realidade pedagógica da engenharia de controle, indica diretrizes estratégicas para a correção de distorções históricas e a valorização de seu diferencial epistemológico, em conhecimentos que relacionados à abstração das tecnologias e ao problema de controle. Seu apoio em um modelo epistemológico permitiu, com a explícita referência ao controle, a fuga da tradicional retórica pedagógica, com concepções pedagógicas atualizadas e sem a referência gratuita a teorias e/ou modelos pedagógicos mais antigos, de algum modo implícitos no modelo. Os modelos epistemológico e pedagógico possibilitam, assim, que se aprofunde o debate pedagógico da área, transcendendo a repetição do discurso relacionado ao ensino de engenharia em geral. Eles ajustam tal realidade ao buscarem o posicionamento adequado da engenharia de controle, não tendo esse engenheiro como agente subsidiário de agregação das outras engenharias.

Os modelos desenvolvidos mostram-se assim originais e relevantes na pesquisa ligada ao conhecimento em controle, em sua forma coletiva (epistemológica) e individual (pedagógica), em uma perspectiva não centrada em opiniões e experiências individuais, mas em sua natureza epistemológica. Este desenvolvimento sugere que os dois modelos, que representam o núcleo hipotético da tese, não estão restritos à realidade brasileira, mas que de fato podem ser estendidos a qualquer formação racionalmente centrada no conhecimento em controle (não em casos aplicados particulares ou em uma formação intuitiva e/ou ainda heurística), ampliando seu valor acadêmico para além do objeto da tese.

Nesta direção, os temas do quarto capítulo permitiram um aprofundamento em aspectos particulares, não presentes nos modelos epistemológico e pedagógico, aproximando-os do eixo central de debate e aplicando-os na corroboração dos modelos, além de fornecer elementos concretos tangenciais à síntese curricular. Os aspectos curriculares envolveram, com base nos modelos, a indicação de princípios e estratégias para a definição da dinâmica pedagógica pelas instâncias locais, a partir de três momentos distintos do ensino: preparação para a aprendizagem (revisão), aprendizagem propriamente dita (formação), e consolidação cognitiva da aprendizagem (maturação). Deste contexto, resultaram diversos corolários epistemológicos e metodológicos para a formação em engenharia de controle, bem como esboços de estratégias de revisão e de maturação, todos sustentados pela coerência dos modelos epistemológico e pedagógico da engenharia de controle no Brasil.

Procurou-se, desta forma, um tratamento amplo e aprofundado do objeto da tese, que é ainda muito pouco explorado diante de sua relevância estratégica. A solução à questão central foi ainda enriquecida (e portanto reforçada) com pesquisas acerca dos temas de interesse da comunidade de controle, no segundo capítulo, e das estruturas curriculares das engenharias brasileiras de controle, no terceiro capítulo. As duas pesquisas possibilitaram uma melhor compreensão da realidade nacional, além de apoiarem os respectivos estudos. Foram ainda apresentados resultados relacionados à tese que decorreram de dois estágios de docência na engenharia de controle da UFSC, o primeiro relacionado à formação experimental, no quarto capítulo, e o segundo relacionado à maturação da formação, no quinto capítulo.

Essa síntese dos desenvolvimentos realizados neste documento não reflete nem proximamente a totalidade de sua contribuição. A amplitude do objeto de pesquisa, mesmo com a sutil restrição à realidade brasileira, gerou uma densidade de conteúdos que impede a obtenção de um restrito conjunto de resultados finais isoláveis e conclusivos. Cada tópico em cada capítulo deste documento contém subsídios relevantes ao tratamento dado ao objeto de pesquisa, não sendo pertinente pretender resumi-los todos nesta seção, na certeza de omissões importantes, de modo que uma compreensão mínima da contribuição desta tese requer a plena leitura deste documento, com a verificação de todos os elementos de sustentação dos modelos, bem como de todas as repercussões e considerações sobre a realidade modelada.

### **6.3 PERSPECTIVAS DE CONTINUIDADE**

Essa tese representa uma mudança na perspectiva acadêmica para o ensino de engenharia de controle, saindo de estudos baseados em experiências individuais em direção a uma racionalidade objetiva própria. Procurou-se garantir os maiores níveis de coerência e amplitude a essa ruptura. Contudo, persistem lacunas que devem ser preenchidas por novos estudos, em especial na extensão das contribuições da tese (melhor formalização dos modelos, por exemplo) e de seu objeto (formação de controle em outros países ou fora da engenharia). A sustentação epistemológica e pedagógica apresentada pode ser, por exemplo, aplicada nos diversos estudos citados, integrando-os em torno do conhecimento em controle.

Não se pode negar entretanto, que a mais imediata perspectiva de continuidade que se descortina é a consolidação de nossa engenharia de controle, através de projetos de síntese curricular baseados nos modelos desta tese e particularmente nas orientações dadas no quinto capítulo. Neste particular, cabe destacar o trabalho na área de educação que vem sendo

desenvolvido no programa de pós-graduação da engenharia elétrica da UFSC, onde foi gestada a engenharia de controle no Brasil. Novas pesquisas, relacionadas à questão curricular estão em desenvolvimento, com base também no trabalho de Vallim (2000), devendo trazer novos resultados, ligados propriamente à síntese curricular deste curso de engenharia.

Trabalhos similares podem ser realizados em outros cursos, com a verificação da coerência dos modelos desta tese e de suas contribuições reflexas. Neste caso, pode-se defender que o embasamento da tese na experiência do curso da UFSC seria complementado com a visita a outros cursos. Estas incursões poderiam, entretanto, comprometer sua eficácia ao desviar os escassos recursos em realidades que em algum grau foram influenciadas pelo curso da UFSC, tanto diretamente, através da troca de experiências e de Bruciapaglia (et. al., 1990), quanto indiretamente, através de normas influenciadas pelo curso (Brasil, 1994 e 1999a). Além disso, o rigor conceitual e a busca de outros referenciais (como os cursos de referência) fomentaram a objetividade, ficando a questão da experiência em plano secundário.

Espera-se que este trabalho se torne um referencial significativo para nossa engenharia de controle, em um período de maiores níveis de competitividade e flexibilização pedagógica, e onde o curso busca uma afirmação perante os cursos de engenharia clássica. Como grande obstáculo surge a questão cultural, com a eventual negligência dos membros da comunidade, especialmente dos colegiados, a quem compete a síntese curricular. É notório o excesso de atividades executivas docentes. Contudo, sua qualidade (qualidade da pesquisa, produtividade administrativa, e níveis de aprendizagem) depende da qualidade das estratégias de sustentação e do planejamento, que, no caso do ensino, representam o contexto em que este trabalho espera fornecer maiores subsídios. A qualificação é ainda demandada por pressões profissionais reforçadas pelos cursos superiores de tecnologia, conforme quarto capítulo.

Outra perspectiva é a contextualização filosófica do conhecimento em controle, em uma epistemologia sincrônica, onde seus especialistas pensem o conhecimento de forma crítica e sistemática, e nos aspectos mais abrangentes, inclusive os sociais. Para tanto, deve-se partir da consolidação das instâncias teórica, experimental e aplicada do controle, que pode ter neste século a mesma relevância que a eletricidade teve no anterior. Nesta direção, a partir da epistemologia do controle, a comunidade pode revolucionar outras áreas, especialmente onde os sistemas são complicados e difíceis de compreender (Murray et. al., 2003, p. 17). Esta tese pode servir de referência para tarefas similares em outras áreas, especialmente na cibernética, com a busca de um modelo unificado para o controle. Apesar dos caminhos diferenciados que sua engenharia, as teorias de sistemas, da complexidade e do caos tomaram, talvez seja o momento de uma reunificação (Bissell, 1999b, p. 47).

A tese pode ainda contribuir na pedagogia, na epistemologia e no tratamento de outras engenharias. Moraes (1998, p. 5), por exemplo, ao combater a formação profissional estrita, que se fragiliza a médio e longo prazos, defende uma formação mais geral, capaz de gerar engenheiros que se adaptem facilmente, e onde as seguintes habilidades são enaltecidas: a) capacidade em compreender processos produtivos complexos; b) conhecimento e utilização de procedimentos lógico-matemáticos; c) capacidade em ajustar-se a situações diversificadas, e normas e regras mais estáveis; d) capacidade de extrair informações dos dados e de lidar com elas; e) capacidade de adaptação tecnológica e social. Pode-se verificar, à luz deste documento, que tais habilidades estão de algum modo implícitas no modelo pedagógico da engenharia de controle, podendo haver adaptações inclusive para as engenharias clássicas.

A densidade das contribuições deste documento fornece, deste modo, inúmeras possibilidades de continuidade em eixos de pesquisa ligados ao controle, à pedagogia, à epistemologia, à tecnologia, à engenharia, à metafísica, à cibernética, à informática etc.

#### **6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As mudanças legais em andamento permitem a busca da identidade própria da engenharia de controle, coerente não apenas com a realidade brasileira, mas também com uma epistemologia e uma pedagogia próprias. Neste aspecto, a estruturação e a expansão do curso no Brasil, em contrapartida a uma formação de serviço em outros países, coloca-o em posição estrategicamente privilegiada em um período tecnológico onde o controle tende a ter papel preponderante. O principal objetivo da tese é sustentar este potencial estratégico favorecendo a busca racional da excelência na formação dos engenheiros de controle. Neste processo, ao buscar a racionalização do curso, com fundamentos para a auto-reflexão da comunidade, a tese evidencia seus interesses emancipatórios (Habermas, 1987), em uma comunidade movida pelo interesse técnico, mesmo na condução da justificação do conhecimento, e pelo interesse prático dos agentes de formação, observável na respectiva bibliografia.

A partir das expectativas tradicionais de justificação do conhecimento, pode-se criticar a tese por não apresentar qualquer avanço técnico ao controle. Este questionamento refletiria a ideologia pragmática da engenharia, com uma pseudofilosofia que apenas releva o conhecimento técnico, impondo exigências qualitativas ainda maiores à tese. Ocorre que pensar e praticar a engenharia são atividades diferenciadas, mas não antagônicas, não sendo justificável a supressão da filosofia, ou mesmo seu exílio em áreas distantes, em benefício da

produtividade localizada. De fato, por mais pragmática que seja uma comunidade, não lhe é justificável demarcar seu conhecimento somente pelas instâncias técnicas, devendo, no mínimo, considerar seus aspectos epistemológicos (formação coletiva) e pedagógicos (formação individual), como globalmente se realizou nesta tese.

Outra fonte de dificuldades foi a necessidade da conexão do conhecimento em controle à epistemologia e à pedagogia, em uma contextualização ausente em outros estudos ligados ao controle ou mesmo a outras áreas da engenharia. Estas áreas foram integradas neste trabalho preservando-se o foco em seu objeto sem a ênfase estrita em temas pedagógicos e filosóficos. Preservou-se, assim, um eixo sustentação – o controle em direção a sua formação em engenharia – que favorece a compreensão pela comunidade, razão porque alguns temas conceituais foram tratados em anexo. Deve-se ressaltar, contudo, que o princípio analítico das engenharias não é plenamente aplicável às contribuições desta tese, com a aplicação de seus resultados sem a compreensão do problema. Os princípios pedagógicos e os corolários, dentre outros elementos conclusivos, certamente são relevantes, mas, isoladamente, dissociados de sua fundamentação, serão esvaziados, podendo conduzir a uma síntese curricular cosmética e/ou geradora de novas espécies de bloqueio e ineficiências pedagógicas.

Outra crítica possível é a irrelevância de estudos pedagógicos globais, sendo o aluno o único aspecto permanente de formação e as diferentes disciplinas podendo ser tratadas isoladamente, em uma perspectiva baseada em fatores culturais e que sustenta a negligência citada na seção anterior. A tese demonstra que a incursão de uma comunidade especializada em questões pedagógicas e filosóficas é desejável e possível, evidenciando-as como responsabilidades da comunidade, especialmente a docente. Apesar de bloqueios ideológicos e culturais, estudos gerais, como este, complementam estudos técnicos na promoção do amadurecimento intelectual da comunidade, motivação original da dinâmica acadêmica. Esta maturidade é ainda mais necessária ao conhecimento em controle, área de gravitação da tecnologia deste novo século, mas ainda condicionada a determinantes históricos limitadores.

Este é enfim um trabalho que introduz de forma diferenciada um tema estrategicamente relevante, que, a partir das diversas perspectivas de continuidade apresentadas, dentre outras possíveis, pode contribuir para o desenvolvimento de políticas, a definição de estratégias e a implementação de projetos pedagógicos propícios para a formação de uma massa pensante qualificada em controle no Brasil, pavimentando nosso caminho em direção à maturidade tecnológica.

## **ANEXO A – CONCEITOS GERAIS**

### **A.1 TECNOLOGIA**

Tecnologia tornou-se um jargão do senso-comum denotando as diversas faces de inovação contemporânea. O livre uso do termo e de suas variantes remete à necessidade de uma definição precisa, principalmente no caso do conhecimento em controle, com sua estreita e nebulosa relação com a tecnologia. Uma das dificuldades em sua definição vem da confusão histórica com técnica e ciência, de quem herda diferentes aspectos.

A tecnologia herda da técnica a ação planejada do homem sobre a natureza (e sobre si mesmo), sendo objetos de ambas os conceitos de artificial e artefato (Bunge, 1983e, pp. 222-231). A diferença está no tipo de conhecimento aplicado, que na tecnologia é o científico (idem, p. 220). Entretanto, para que se caracterize de fato uma tecnologia, este conhecimento deve ser aplicado consciente e sistematicamente. Assim, a tecnologia envolve uma metodologia que, partindo do método e do conhecimento científicos, inclui elementos relacionados à especificação, ao projeto e ao desenvolvimento racionais do artificial e dos artefatos. Já a técnica é baseada na experiência e na intuição, típica dos artesãos. Na prática, é comum a integração entre ambas, com a primeira ocupando os espaços deixados pela ciência nos processos de desenvolvimento e aplicação da segunda.

A tecnologia está intimamente integrada, num processo de simbiose, à ciência. Enquanto a ciência fornece a ela seu conhecimento e seu método, a tecnologia agrega valor social à ciência e promove novos fenômenos que apóiem seu desenvolvimento. A diferença é que a tecnologia envolve a produção cientificamente planejada do artificial, enquanto a ciência busca a compreensão objetiva do natural (ver Bunge, 1985, parte I). Contudo, tais limites devem reduzir com a expansão da tecnologia em direção ao natural, como na genética.

## A.2 AUTOMAÇÃO

O senso-comum da comunidade trata o controle e a automação como áreas relacionadas respectivamente aos processos contínuos e seqüenciais. Contudo, esta concepção é filosoficamente confusa ao abordar de forma separada elementos similares. É o caso do controle de sistemas a eventos discretos, cuja teoria é incluída no campo da automação, mas que está claramente vinculada ao conhecimento em controle. Este trabalho procura romper estas distorções, com um conceito de automação que complemente o controle.

Assim, automação é aqui definida como o conjunto dos resultados tecnológicos onde a atuação humana é indireta, e que necessitam do controle em algum grau. Desta definição, que inclusive reflete a significação socialmente adotada para automação, decorre a automação como aplicação do controle. Não se pode esquecer, contudo, que o controle não é tecnológico, participando dos sistemas em geral (ver exemplo em Straškraba, 2001). Da união do controle com a automação, surgem os conhecimentos básicos da engenharia de controle.

## A.3 CIBERNÉTICA

A Cibernética é a área que aplica mais claramente o sentido geral do controle. Surgiu após a segunda guerra em conferências com intelectuais de diversas áreas, como o engenheiro Norbert Wiener, que sugeriu o termo. Ashby (1957) e Rose (1994) fornecem um panorama geral de sua origem, vinculada a limitações da causalidade unidirecional e baseada na realimentação e no controle em um contexto de crescente desenvolvimento da informática e das ciências biológicas e sociais. Teve influências da teoria da informação, da física quântica e do neopositivismo em uma abordagem funcional de representação de sistemas de controle (idem, p. 23), podendo tratar sistemas em geral: físicos, tecnológicos, biológicos, ecológicos, psicológicos, sociais, ou qualquer combinação (Heylighen et. al., 2001, p. 156).

A área pode ser dividida em duas tendências: a cibernética de primeira ordem, hegemônica até a década de 1960, ligada aos sistemas controlados em geral; e a de segunda ordem (ver Heylighen & Joslyn, 2001), ligada aos sistemas autônomos ou autoregulados, pleno de processos de controle. A emergência desta segunda acentuou seu distanciamento em relação ao controle na engenharia, trido pela cibernética como mecanicista. Um panorama geral da cibernética é apresentado em *Principia* (2002), sendo evidente a equivalência epistemológica com o controle, embora com um foco voltado mais à informática.

#### A.4 METAFÍSICA

Sua compreensão é essencial no estudo epistemológico do controle. Também denominada de ontologia (*óntos*, termo grego para ente), a metafísica é a área que se ocupa dos aspectos mais elementares e gerais da realidade e de suas entidades. Exatamente por tal generalidade e devido ao enfraquecimento contemporâneo da filosofia, a metafísica costuma ser individualmente construída a partir do senso-comum. Sua origem remonta a Aristóteles em sua *Filosofia Primeira* que se diferenciava das ciências particulares, reunidas na *Filosofia Segunda* ou *Natural*, ao abordar os entes de forma geral. Assim, como coloca Bunge (1983b, p. 1), enquanto o cientista é um fragmentário, o metafísico é um generalista. O termo surgiu depois, do grego *meta* (após), quando edições romanas da obra de Aristóteles posicionaram a *Filosofia Primeira* após a *Natural*, renomeada de Física. A partir daí, novas noções surgiram com base em sua etimologia (além da física), como descreve Bunge (*idem*, p. 3-5), sendo muitas delas alheias à ciência emergente e distantes da perspectiva original. Neste processo, o positivismo, marcante na origem da tecnologia e no auge da ciência moderna, e o positivismo lógico (Carnap, 1932) trataram-na como antítese filosófica da ciência mecanicista, sendo esta uma das principais causas do distanciamento contemporâneo entre filosofia e ciência.

Bunge (*idem*, p. 6) procura resgatar a essência original da metafísica ao delegar à ontologia o papel de buscar teorias universais sobre os entes concretos, que seriam a união dos objetos de estudo das ciências concretas (não formais). É, assim, uma metafísica que está alinhada ao conhecimento científico (Bunge a denomina de *Ontologia Científica*), devendo basear-se racionalmente nas ciências formais, em especial a Matemática (*idem*, pp. 8, 14-15, 24). Assim, a relação entre ciência e ontologia científica pode ser assim sintetizada: “ambas inquiram sobre a natureza das coisas, mas enquanto a ciência o faz em detalhes e assim produz teorias que são abertas ao escrutínio empírico, a metafísica é extremamente geral e pode ser verificada somente pela sua coerência com a ciência” (*idem*, p. 16). De fato, toda ciência pressupõe alguma metafísica (*idem*, p. 17), como mostra Bunge ao apresentar uma série de princípios ontológicos que têm sido implicitamente aplicados pela pesquisa científica (*idem*, p. 16-17). Além disso, a ciência pode produzir teorias ontológicas através da generalização, não se podendo delimitar uma fronteira precisa entre ambas (*idem*, p. 21).

Bunge (*idem*) aprofunda o tema definindo e analisando conceitos ontológicos elementares como *Coisa*, *Estado*, *Possibilidade*, *Espaço*, *Tempo*, *Mudança* e *Processo*; e Bunge (1983c) caracteriza a ontologia científica como sistêmica, hipótese elementar para o modelo epistemológico do segundo capítulo.

## A.5 COMPLEXIDADE

O termo é recorrente na literatura científica, embora com diversos significados que dificultam reflexões consistentes. Para tentar resolver esta questão, adota-se a noção de Mikulecky (2001). A complexidade surge das carências do paradigma cartesiano-newtoniano e de seu realismo metafísico, com a realidade tornando-se resultado da síntese das teorias científicas. Havia-se perdido a distinção entre a realidade externa, complexa, e o sistema formal de representação fornecido pela ciência. Neste contexto, a complexidade reside na ordem intrínseca da realidade ainda não incorporada ao conhecimento racional.

Sendo particularmente relevante à cibernética, a complexidade tem promovido a busca de extensões aos controles clássico e moderno que a incluam, como no caso dos modelos flexíveis do controle adaptativo e das concepções adotadas no controle robusto. O ideal, entretanto, é sua minimização com teorias mais próximas da realidade.

## A.6 CONHECIMENTO

Sua caracterização cotidiana reflete um conhecimento coisificado e estático, que pode ser livremente transferido ou manipulado. Esta concepção surge da desvinculação entre conhecimento e sujeito (crítica em Bunge, 1983d, p. 61s), que remete à pretensa “transmissão de conhecimento” para a mente dos aprendizes.

A partir desta percepção, pesquisadores desenvolveram, na primeira metade do século XX, teorias *comportamentalistas* (*behavioristas*) onde o sujeito é modelado como um sistema entrada-saída e o conhecimento, mensurável no comportamento, regulado em um processo de condicionamento por estímulos de entrada. Pesquisas posteriores procuraram desvendar os estados internos do sujeito, com destaque para a Epistemologia Genética (Piaget, 1950; Becker, 1999), decorrente da psicologia experimental aplicada no processo de construção de conhecimento em crianças. Esta teoria caracteriza conhecimento como resultado de um processo interno de *assimilação* e *acomodação* que surge da *interação* entre sujeito e objeto do conhecimento, que pode ser o próprio sujeito (Becker, 1998, p. 61). Este processo interno é à *cognição* do sujeito. Destaca-se ainda a abordagem *sócio-cultural* de Vygotsky (1999), onde o desenvolvimento da cognição é semelhante ao definido por Piaget, mas com maior ênfase no componente cultural que será *internalizado* ou *apropriado* pelo sujeito em suas relações sociais. Ainda hoje estas concepções de desenvolvimento cognitivo

são amplamente aplicadas na pesquisa pedagógica. Neste trabalho, contudo, no lugar dos termos assimilar e internalizar, será utilizado o termo *apreender* (ver abaixo).

Ao mesmo tempo em que se ampliaram as pesquisas sobre o desenvolvimento cognitivo, a inteligência artificial e a cibernética passaram a buscar um modelo mecanicista de cognição mecanicista. Com base em arquiteturas de computador e em redes neurais, por exemplo, tentaram reproduzir o processo do conhecimento e do comportamento humano. Do ponto de vista tecnológico obtiveram importantes avanços, como os sistemas especialistas e a robótica. Já do ponto de vista filosófico elas propuseram modelos reducionistas através de “metáforas simplistas e superficiais (...) que proporcionam maior distanciamento entre a ciência, em particular a biologia, e a psicologia e a epistemologia” (Bunge, 1983d, p. 27).

Mais recentemente a Neurociência vem possibilitando uma compreensão do sistema cognitivo humano não limitada a dados empíricos, como Piaget e Vygotsky, ou a analogias, como os mecanicistas, mas a partir das próprias estruturas biológicas. Mitos como a anatomia estática dos tecidos neurológicos e a memória como agente da cognição foram quebrados em prol de uma concepção biológica. Por exemplo, a *Teoria da Cognição de Santiago* (Maturana & Varela, 1980; introdução em Capra, 1996) apresenta, a partir de fatores biológicos e epistemológicos, um modelo científico/filosófico para a cognição, responsável pela própria vida ao viabilizar a adaptação do sujeito ao meio, com a cognição modelando o meio em si própria, *apreendendo-o*, não por cópia, mas por representação racional e intuitiva. O conhecimento surge deste aprendizado na perspectiva da preservação do sujeito, ou seja, “conhecer é ser capaz de agir adequadamente em uma situação individual ou cooperativa” (Maturana & Varela, 1980, p. 53). Esta forma de abordagem de cognição (*biosociológica*) é adotada por Bunge (1983d, p. 60), embora de forma restrita ao sistema nervoso.

Assim, o conhecimento, *abstração do processo autônomo da cognição individual* e que se desenvolve com a aprendizagem, representa as habilidades e conceitos aprendidos, estando vinculado à percepção, à razão e à ação (idem, p. 72), que caracterizam o processo dialético de controle do ser humano sobre a natureza e sobre si mesmo. Já o conhecimento coletivo é uma *síntese dos conhecimentos individuais que se interagem através da comunicação e da linguagem*. A comunicação e seus padrões, as linguagens, potencializam a interação entre processos cognitivos individuais que se estimulam mutuamente, catalisando a adaptação individual e coletiva ao meio. Do processo de desenvolvimento e sistematização dos conhecimentos surgem padrões que caracterizam núcleos de gravitação do conhecimento, como o cálculo, a física, a biologia, e o próprio controle.

Bunge (1983d, p. 125) critica a confusão do conhecimento com fluxo de dados, decorrente de sua coisificação e da confusão com linguagem e informação. Uma biblioteca, por exemplo, não contém conhecimentos, mas canais de comunicação, os textos, com seus dados na forma de uma linguagem. Os leitores, receptores e intérpretes dos dados, e que efetivamente são os sujeitos do conhecimento, podem aprender com as informações (dados interpretáveis) recebidas, evoluindo suas estruturas cognitivas e, portanto, seu conhecimento.

## A.7 EPISTEMOLOGIA

É o campo da filosofia ligado ao conhecimento humano coletivo em geral – ordinário ou científico, intuitivo ou formal, puro ou aplicado (Bunge, 1983d, p. xiv). Além de estudá-lo objetivamente, também busca a compreensão de seu processo de construção, na busca de melhores condições de desenvolvimento. Assim, ao abordar a cognição humana, a epistemologia pode ser vista como uma combinação da filosofia com a biologia, a pedagogia, a psicologia e a sociologia (ver *idem*, Introdução).

Historicamente, contudo, a Epistemologia esteve restrita a aspectos filosóficos, em teorias especulativas de conhecimento, tais como o Empirismo de Bacon e o Racionalismo de Descartes (Século XVII), o Idealismo de Kant (Século XVIII), o Materialismo Dialético de Hegel e o Positivismo de Comte (Século XIX). Esta situação começou a mudar no século XX, com o início da consolidação da Epistemologia da Ciência, a partir da Filosofia da Ciência. A necessidade da reavaliação filosófica da ciência, até então considerada a melhor expressão da verdade, surgiu de inovações, como as geometrias não euclidianas, a física quântica e a teoria da relatividade, que abalaram alguns dos pilares da ciência da época, até então intocável.

Iniciou-se então a busca de critérios de justificação do conhecimento científico. O Círculo de Viena (Áustria, 1928-1939) ocasionou a busca dessa justificação através da lógica e da matemática, através do empirismo lógico, tido como única fonte de conhecimento aceitável. Esses primeiros epistemólogos “profissionais” desenvolveram uma “epistemologia artificial” que se distanciou do conhecimento e dos problemas originais levantados pelos primeiros epistemólogos (Bunge, 1980, p. 9). A partir das deficiências demonstradas pelo empirismo lógico, opções como as contribuições de Popper foram buscadas. Recentemente, houve uma maior influência de resultados das ciências naturais e sociais, em especial os ligados ao conhecimento e à cognição, provocando a naturalização da Epistemologia. Deste modo, epistemólogos como Kuhn, Bachelard e Feyerabend passaram a enaltecer o papel

social da comunidade científica na justificação do conhecimento científico e procuraram detectar padrões de desenvolvimento em análises históricas. Assim, além da análise do conhecimento e de seu desenvolvimento, a epistemologia deve avaliar as possíveis influências psicológicas e sociológicas entre conhecimento, comunidade e sociedade. É desejável que a própria comunidade envolva-se em reflexões sobre seu produto e dos métodos utilizados para sua lapidação. Aplicar esta condição epistemológica *sincrônica* (Angotti, 1991, p. 36) na construção de um modelo epistemológico atual é fator preponderante a este trabalho.

## A.8 MÉTODO PEDAGÓGICO

É facilmente confundido com *técnica* e *modelo*, em confundindo os papéis coletivos e individuais dos professores, e promovendo vácuos para a influência de intuições individuais. A diferença semântica com *técnica* é similar à existente entre gênero e espécie (Kotait, 1981). Já para Galliano (1977, p. 6), o método é o orientador geral da atividade, a *estratégia* da ação; enquanto a *técnica* é a *tática*, solucionando o melhor modo específico pelo qual a ação se desenvolve em cada etapa. Assim, a *técnica* subentende um modo de proceder nos menores detalhes, resultando da experiência e exigindo habilidade em sua execução; enquanto o método é um processo destinado a alcançar determinado fim. O método não deixa de ser, pois, um processo de controle, devendo conhecer a realidade de aplicação. A definição e execução das técnicas são responsabilidades dos professores, devendo, contudo, manter a coerência com os métodos utilizados, mesmo tacitamente. É ainda papel docente interpretar e responder às realimentações do processo de ensino. Enquanto a *técnica* pedagógica é definida localmente pelos professores, a metodologia compete ao colegiado, a partir dos modelos e realimentações disponíveis, e respeitando os recursos e limitações existentes.

A confusão entre método e modelo, por sua vez, decorre da utilização do termo método em referência a modelos pedagógicos, como, por exemplo, ocorre muitas vezes para o modelo construtivista de desenvolvimento cognitivo, que inclusive serve de referência para o modelo pedagógico desta tese, sendo, assim, fonte metodológica e não metodologia. Esta confusão acaba levando à busca de metodologias unitárias, gerando-se disputas desnecessárias pela definição *do* método que melhor se identifique com o modelo de referência, o que é desnecessário, pois para um sistema como a cognição humana, diversas serão as variáveis e, conseqüentemente, as estratégias de ensino que deverão formar o sistema de ensino.

## **ANEXO B – CAMPOS DE ESTUDO DA ACADEMIA**

Este anexo aplica as perspectivas do conhecimento em controle da seção 2.3.1 na verificação da produção acadêmica das instâncias internacional, nacional e local, com base nas sessões técnicas dos últimos eventos gerais na área: 2002' IFAC World Congress (internacional) e XIV Congresso Brasileiro de Automática (nacional e local).

### **2002'IFAC WORLD CONGRESS**

(<http://www.cimne.upc.es/congress/ifac/Program>)

Os valores entre parênteses indicam as sessões técnicas sobre o tema:

#### **SISTEMA (54)**

Sistemas lineares (8)

Linearização (1)

Sistemas não lineares (14)

Sistema incertos (1)

Métodos de identificação de espaço de estados e de subespaços (1)

Estimação de estados e filtragem (1)

Identificação (6)

Processos industriais (1)

Sistemas estocásticos (2)

Sistemas biológicos e médicos (3)

Sistemas híbridos (2)

Sistemas a eventos discretos (2)

Sistemas neurais (2)

Sistemas agrícolas (1)

Sistemas ambientais (1)

Realidade virtual e inteligência humana (1)

Sistemas econômicos e estabilidade internacional (2)

Sistemas de geração de energia (2)

Sistemas automotivos (2)

Sistemas de transporte (1)

### **TOPOLOGIA (7)**

Modelos de manufatura (2)

Sistemas de larga escala (2)

Arquitetura de controle para cooperação avançada em robótica (1)

Sistemas com múltiplos robôs (1)

Sistemas distribuídos (1)

### **LÓGICA (90)**

Planejamento da produção e modelos de otimização (1)

Abordagens de modelagem lógica e de agentes (1)

Controle, monitoramento e qualidade do processo (1)

Controle, navegação e condução de robôs móveis (1)

Controle de vibração e flexibilidade mecatrônica (1)

Controle de processos (1)

Controle de sistemas com restrições de entrada (1)

Novas abordagens e desafios no projeto de controladores (2)

Controle a modos deslizantes (3)

Controle digital (1)

Controle observatório (1)

Algoritmos evolutivos em controle (1)

Controle inteligente (5)

Controle de sistemas com atraso (2)

Avanços no controle linear quadrático (1)

Avanços no controle MPC (1)

Controle de sistemas lineares (4)

Controle de sistemas não lineares (7)

Algoritmos para problemas de otimização em controle (1)

Controle ótimo (5)

Controle preditivo (2)

Controle robusto (12)  
Controle adaptativo (7)  
Controle de sistemas a eventos discretos (2)  
Controle de sistemas estocásticos (3)  
Controle nebuloso (6)  
Controle de sistemas neurais (4)  
Controle tolerante a falhas (12)  
Controle multivariável (1)

### **SUPORTE MATERIAL (80)**

A prática da Integração e da Arquitetura da Empresa (1)  
Aplicações industriais de modelos de controle da manufatura (1)  
Projeto e Balanceamento de linhas de montagem (1)  
Campo da robótica (1)  
Robôs flexíveis e não lineares (1)  
Robôs industriais (1)  
Controladores robóticos (1)  
Controle de sistemas robóticos (3)  
Sensores em robôs (1)  
Robótica avançada (1)  
Sistemas servo de alto desempenho (1)  
Fieldbus (1)  
Sistemas de auxílio para aplicações automotivas (1)  
Sistemas de baixo custo (2)  
Mecatrônica para robôs (1)  
Estudos de caso de controle – Aeronáutica e Hidráulica (1)  
Estudos de caso de controle – Plantas de processamento (1)  
Projeto de controle de movimento (1)  
Projeto de controle de sistemas mecânicos (1)  
Processamento de sinais (1)  
Projeto de controle auxiliado por computador (5)  
Controle de sistemas biológicos e médicos (4)  
Controle de sistemas ambientais (3)  
Controle de processos químicos (11)

Controle aplicado à mineração (4)  
Controle de sistemas de geração de energia (5)  
Controle aeroespacial (5)  
Controle de sistemas automotivos (5)  
Controle de sistemas marítimos (5)  
Sistemas inteligentes autônomos (2)  
Telemática (2)  
Controle em tempo real (4)  
Controle computacional (2)

**XIV Congresso Brasileiro de Automática – CBA 2002**  
(Anais do Congresso)

Os valores entre parênteses indicam as sessões técnicas sobre o tema:

**SISTEMA (8)**

Estabilidade de Sistemas de Controle (1)  
Sistemas Não-Lineares (1)  
Modelagem e Identificação de Sistemas (2)  
Transitórios de Sistemas de Potência (1)  
Máquinas Elétricas (1)  
Sistemas Estocásticos (1)  
Estabilidade Transitória de Sistemas de Potência (1)

**TOPOLOGIA (4)**

Sistemas de Manufatura (1)  
Sistemas Distribuídos (2)  
Distribuição de Energia Elétrica (1)

**LÓGICA (20)**

Redes Neurais (3)  
Controle Adaptativo (1)  
Sistemas Inteligentes (2)  
Sistemas a Eventos Discretos (2)  
Controle de Sistemas a Estrutura Variável (1)

Controle H2-Hinf (1)  
Algoritmos Evolutivos e Otimização (1)  
Otimização e Controle Ótimo (1)  
Controle e Modelagem Fuzzy (2)  
Controle Linear (3)  
Controle Robusto (1)  
Controle Preditivo (1)  
Controle PID (1)

#### **SUPORTE MATERIAL (47)**

Controle de Robôs Manipuladores (3)  
Correção de Fator de Potência (1)  
Máquinas Elétricas (2)  
Qualidade de Energia (3)  
Aplicações de Sistemas Inteligentes a Sistemas de Potência (2)  
Conversores CA-CC (1)  
Estabilidade de Tensão (3)  
Planejamento de Sistemas de Potência (3)  
Fluxo de Carga e Estimação de Estado (2)  
Servo Visão (1)  
Inversores (1)  
Instrumentação e Circuitos Elétricos (2)  
Aplicações de Controle (4)  
Dispositivos FACTS em Sistemas de Potência (1)  
Estabilidade de Sistemas de Potência a Pequenas Perturbações (1)  
Robótica Móvel (3)  
Conversores CC-CC (1)  
Acionamentos Elétricos (2)  
Análise de Segurança e Otimização em Sistemas de Potência (1)  
Projeto de Sistemas Robóticos (1)  
Processamento de Sinais (3)  
Processamento de Imagens (1)  
Aplicações Especiais de Eletrônica de Potência em Máq. Elétricas (1)  
Sensoreamento Robótico (1)

Confiabilidade e Processos Estocásticos em Sistemas de Potência (1)  
Aplicações em Automação da Manufatura (1)  
Filtragem/UPS e Reatores (1)

**Artigos da Comunidade de Controle da UFSC**  
**XIV Congresso Brasileiro de Automática – CBA 2002**  
(Anais do Congresso)

Os valores entre parênteses indicam os artigos apresentados sobre o tema:

**SISTEMA (4)**

Estabilidade de Sistemas de Controle (2)  
Sistemas Não-Lineares (1)  
Sistemas Estocásticos (1)

**TOPOLOGIA (2)**

Sistemas Distribuídos (2)

**LÓGICA (13)**

Sistemas a Eventos Discretos (2)  
Controle de Sistemas a Estrutura Variável (3)  
Controle Linear (2)  
Sistemas Inteligentes (1)  
Controle Preditivo (1)  
Controle PID (3)  
Controle e Modelagem Fuzzy (1)

**SUPORTE MATERIAL (6)**

Controle de Robôs Manipuladores (3)  
Aplicações de Controle (1)  
Conversores CC-CC (1)  
Projeto de Sistemas Robóticos (1)

## ANEXO C – CURSOS NO BRASIL

Após a introdução da Engenharia de Controle em 1990 na UFSC, e com seu reconhecimento pedagógico e profissional (Brasil 1994, e Brasil 1999a, respectivamente) iniciou-se sua expansão.

Um levantamento sobre as informações disponibilizadas pelas instituições de ensino superior resulta nos cursos da tabela 8, com mais de 2.500 vagas anuais disponíveis atualmente, indicando o potencial para uma massa pensante na área. Informação adicional sobre cada curso pode ser obtida através dos endereços eletrônicos em itálico.

<b>Instituição / Núcleo</b> <i>endereço eletrônico</i>	<b>Vagas Anuais</b>
Instituto Mauá de Tecnologia – IMT Escola de Engenharia Mauá <i><a href="http://www.maua.br/ceun/eem/habilitacoes.htm#07">http://www.maua.br/ceun/eem/habilitacoes.htm#07</a></i>	160
Escola Federal de Engenharia de Itajubá – EFEI Instituto de Engenharia Elétrica Departamento de Eletrônica <i><a href="http://www.eca.efei.br/">http://www.eca.efei.br/</a></i>	40
Faculdade Assis Gurcacz – FAG <i><a href="http://www.fag.edu.br/graduacao/engcontr/index.php">http://www.fag.edu.br/graduacao/engcontr/index.php</a></i>	N/D
Faculdade Politécnica de Jundiaí <i><a href="http://www.politecnica.br/mecatronica/">http://www.politecnica.br/mecatronica/</a></i>	~135
Faculdade Politécnica de Matão <i><a href="http://www.polimatao.edu.br/mecatronica/">http://www.polimatao.edu.br/mecatronica/</a></i>	120
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC/MG Departamento de Engenharia Elétrica <i><a href="http://www.dee.pucminas.br/automacao/index.html">http://www.dee.pucminas.br/automacao/index.html</a></i>	120
Pontifícia Universidade do Paraná – PUC/PR Centro de Ciências Exatas e da Tecnologia <i><a href="http://www.produtronica.pucpr.br/publico/eca/index.htm">http://www.produtronica.pucpr.br/publico/eca/index.htm</a></i>	60
Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro – PUC/RJ <i><a href="http://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccg/eng_automacao.html">http://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccg/eng_automacao.html</a></i>	N/D (< 500)

Pontifícia Universidade do Rio Grande do Sul – PUC/RS Departamento de Engenharia Mecânica Mecatrônica <a href="http://www.pucrs.br/uni/poa/feng/demm/mecatronica/index.htm">http://www.pucrs.br/uni/poa/feng/demm/mecatronica/index.htm</a>	120
Universidade Braz Cubas – UBC <a href="http://www.siteubc.com.br/internet/cursos/engcont.asp">http://www.siteubc.com.br/internet/cursos/engcont.asp</a>	240
UNIVATES Centro Universitário <a href="http://www.univates.br/fred.php?sys_date=&amp;section=3&amp;article=323&amp;article_old=">http://www.univates.br/fred.php?sys_date=&amp;section=3&amp;article=323&amp;article_old=</a>	60
Universidade de Fortaleza – UNIFOR Centro de Ciências Tecnológicas <a href="http://www.unifor.br/servlets/newstorm.notitia.apresentacao.ServletDeSecao?codigoDaSecao=313&amp;dataDoJornal=atual">http://www.unifor.br/servlets/newstorm.notitia.apresentacao.ServletDeSecao?codigoDaSecao=313&amp;dataDoJornal=atual</a>	80
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP Faculdade de Engenharia Mecânica <a href="http://www.fem.unicamp.br/mecatronica/home.htm">http://www.fem.unicamp.br/mecatronica/home.htm</a>	50
Universidade Estadual Paulista – UNESP Unidade de Sorocaba / Iperó <a href="http://www.unesp.br/vestibular/cursos2004.htm">http://www.unesp.br/vestibular/cursos2004.htm</a>	40
Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG <a href="http://www.controle.eng.ufmg.br/">http://www.controle.eng.ufmg.br/</a>	80
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP Escola de Minas Departamento de Engenharia de Automação, Controle e Técnicas Fundamentais <a href="http://www.em.ufop.br/departamentos/decat/auto-controle/perfil.htm">http://www.em.ufop.br/departamentos/decat/auto-controle/perfil.htm</a>	30
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC Departamento de Automação e Sistemas <a href="http://www.das.ufsc.br/ecai/index.html">http://www.das.ufsc.br/ecai/index.html</a>	60
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ Escola Politécnica <a href="http://www.poli.ufrj.br/bin/cursos.php?ctipo=1&amp;idcurso=26">http://www.poli.ufrj.br/bin/cursos.php?ctipo=1&amp;idcurso=26</a>	25
Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo <a href="http://www.unimep.br/feau/egca/">http://www.unimep.br/feau/egca/</a>	80
Universidade Paulista Objetivo – UNIP Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia <a href="http://www.unip.br/unip/cursos/EngContAut.htm">http://www.unip.br/unip/cursos/EngContAut.htm</a>	1.000
Universidade Salesiana de São Paulo Unidade de Campinas <a href="http://www.unisal.br/sj/graduacao/c-03.htm">http://www.unisal.br/sj/graduacao/c-03.htm</a>	120

Tabela 8 – Cursos de Engenharia de Controle e Automação no Brasil

Desses cursos, quatro foram selecionados para uma avaliação curricular: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC/MG; Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP; Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG; Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Os currículos são apresentados nas tabelas a seguir e a análise está no quinto capítulo.

Fase/Período	Disciplinas	Créditos	Grupo
1	Cálculo I	6	Cálculo
	Geometria Analítica e Álgebra Linear	6	Geometria
	Programação de Computadores I	5	Inf./Lógicos
	Química	4	Química
	Química Experimental	1	Química
	Desenho Técnico	1	Desenho Técnico
2	Cálculo II	6	Cálculo
	Estatística e Probabilidades	4	Estatística
	Equações Diferenciais	4	Cálculo
	Física I	4	Física Teórica
	Física Experimental I	1	Física Exp.
	Sistemas Digitais	4	Inf./Materiais
	Lab. de Sistemas Digitais	1	Inf./Materiais
	Programação de Computadores II	3	Inf./Lógicos
3	Cálculo III	4	Cálculo
	Cálculo Numérico	4	Cálculo
	Lab. de Cálculo Numérico	1	Cálculo
	Física II	4	Física Teórica
	Física III	4	Física Teórica
	Física Experimental III	1	Física Exp.
	Mecânica Geral II	4	Física Teórica
	Circuitos Elétricos I	6	Física Teórica
4	Cálculo IV	4	Cálculo
	Fenômenos de Transportes	5	Física Teórica
	Microprocessadores	5	Inf./Materiais
	Métodos e Técnicas de Medição	3	Medição
	Física IV	2	Física Teórica
	Física Experimental IV	1	Física Exp.
	Circuitos Elétricos II	4	Física Teórica
Lab. de Circuitos Elétricos	1	Física Teórica	
5	Filosofia I	4	Formação Básica
	Sinais e Sistemas	5	Sistemas Lineares
	Conversão de Energia	4	Sistemas Elétricos
	Eletrônica I	4	Inf./Materiais
	Processos Industriais	4	Sist. Industriais
	Informática Industrial I	4	Inf./Materiais
	Lab. Informática Industrial I	1	Inf./Materiais
	Resistência dos Materiais	2	Materiais
6	Filosofia II	4	Formação Básica
	Ciências do Ambiente	2	Formação Básica
	Teoria de Controle I	4	Controle Clássico
	Máquinas Elétricas	4	Sistemas Elétricos
	Lab. de Conversão Eletromecânica de Energia	1	Sistemas Elétricos
	Eletrônica II	4	Inf./Materiais
	Lab. Eletrônica	1	Inf./Materiais
	Informática Industrial II	4	Inf./Materiais
	Lab. de Inf. Industrial II	1	Inf./Materiais
7	Cultura Religiosa I	4	Formação Básica
	Controle de Processos I	4	Cont. Avançado
	Lab. de Controle de Processos I	1	Lab. Controle
	Instrumentação	4	Medição
	Lab. de Instrumentação	1	Medição
	Acionamentos Elétricos	4	Sistemas Elétricos
	Pesquisa Operacional	4	Sis. Estocásticos

8	Cultura Religiosa II	2	Formação Básica
	Economia	4	Formação Básica
	Banco de Dados	2	Inf./Lógicos
	Administração de Sistemas de Produção	4	Formação Básica
	Sistemas Industriais	4	Sist. Industriais
	Controle de Processos II	4	Cont. a Eventos
	Lab. de Controle de Processos II	1	Lab. Controle
	Lab. de Acionamentos	1	Sistemas Elétricos
Redes de Computadores	3	Inf./Materiais	
9	Lab. Sistemas Industriais	1	Sist. Industriais
	Integração e Avaliação de Sistemas	2	Sist. Industriais
	Lab. de Integração e Avaliação de Sistemas	1	Sist. Industriais
	Confiabilidade em Sistemas de Controle e Automação	4	Engenharia Geral
	Projeto de Fim de Curso I	1	Engenharia Geral
	Estágio Supervisionado I	1	Engenharia Geral
Optativas I e II	4 + 4	Optativas	
10	Instituições de Direito	4	Formação Básica
	Sociologia	2	Formação Básica
	Projeto de Fim de Curso II	1	Engenharia Geral
	Optativa III	4	Optativas
Optativas	Teoria de Controle II	4	Cont. Avançado
	Teoria de Controle III	4	Cont. Avançado
	Teoria de Controle IV	4	Sistemas em Geral
	Tópicos Avançados em Automação I	4	
	Tópicos Avançados em Automação II	4	
	Sistemas Elétricos de Potência I	4	Sistemas Elétricos
	Sistemas Elétricos de Potência II	4	Sistemas Elétricos
	Planejamento e Operação de Sist. Elét. de Potência	4	Sistemas Elétricos
	Projetos Elétricos	4	Engenharia Geral
	Elementos de Robótica	4	Sist. Mecatrônicos
	Comandos Numéricos	4	Sist. Mecânicos
	Termodinâmica Aplicada	4	Sist. Mecânicos
	Máquinas Térmicas II	4	Sist. Mecânicos
	Eletrônica Aplicada II - Micro-eletrônica	4	Sistemas Elétricos
	Telecomunicação IV - Antenas e Propagação	4	Sistemas Elétricos
	Telecomunicação V - Microondas e Óptica	4	Sistemas Elétricos
	Telecomunicação VII - Teoria das Comunicações	4	Sistemas Elétricos
	Telecomunicação VIII - Telefonia e Circuitos	4	Sistemas Elétricos
Informática Avançada I	4	Inf./Materias	
Informática Avançada II	4	Inf./Materias	

Tabela 9 – Estrutura Curricular da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Fase/Período	Disciplinas	Créditos	Grupo
1	Cálculo I	6	Cálculo
	Geometria Analítica e Vetores	4	Geometria
	Química I	4	Química
	Química Experimental I	4	Química
	Introdução à Engenharia de Controle e Automação	2	Engenharia Geral
	Desenho Técnico Assistido por Computador	4	Desenho Técnico
2	Cálculo II	6	Cálculo
	Estatística Elementar	4	Estatística
	Física Geral I	4	Física Teórica
	Física Experimental I	2	Física Exp.
	Algoritmos e Programação de Computadores	6	Inf./Lógicos
	Materiais de Engenharia	2	Materiais
3	Cálculo III	6	Cálculo
	Cálculo Numérico	4	Cálculo

3	Circuitos Elétricos	4	Física Teórica
	Estática	4	Física Teórica
	Oficinas – Mecatrônica	4	Sist. Mecatrônicos
	Engenharia de Fabricação	2	Medição
4	Cálculo IV	4	Cálculo
	Estruturas de Dados	6	Inf./Lógicos
	Dinâmica	4	Física Teórica
	Resistência dos Materiais I	6	Materiais
	Fenômenos de Transporte I	4	Física Teórica
5	Ciências do Ambiente	2	Formação Básica
	Introdução à Teoria Eletromagnética	4	Física Teórica
	Eletrotécnica	6	Física Teórica
	Resistência dos Materiais II	4	Materiais
	Fenômenos de Transportes II	2	Física Teórica
	Laboratório de Ensaios de Materiais	2	Materiais
	Mecânica Aplicada	4	Sist. Mecânicos
6	Org. Básica de Comput. e Linguagens de Montagem	4	Inf./Materiais
	Introdução à Eletrônica	4	Inf./Materiais
	Laboratório de Eletrônica	2	Inf./Materiais
	Fabricação Mecânica e Metalúrgica	4	Sist. Mecânicos
	Circuitos Lógicos	4	Inf./Materiais
	Laboratório de Circuitos Lógicos	2	Inf./Materiais
	Sistemas Mecânicos	4	Sist. Mecânicos
7	Economia para Engenharia	4	Formação Básica
	Usinagem de Materiais	2	Sist. Mecânicos
	Sistemas Térmicos	4	Sist. Mecânicos
	Controle de Sistemas Mecânicos	4	Controle Clássico
	Eletrônica para Automação Industrial	4	Inf./Materiais
	Sistemas Fluidomecânicos	4	Sist. Mecânicos
	Projeto Assistido por Computador	2	Engenharia Geral
8	Organização de Computadores	4	Inf./Materiais
	Instrumentação	4	Medição
	Laboratório de Sistemas Térmicos e Fluidomecânicos	2	Sist. Mecânicos
	Instalações Industriais	2	Sistemas Elétricos
	Controle Avançado de Sistemas	4	Controle Clássico
	Dispositivos Eletro-Mecânicos	4	Controle e Atuação
	Laboratório de Eletrônica para Automação Industrial	2	Inf./Materiais
Laboratório de Sistemas Digitais	2	Inf./Materiais	
9	Direito	2	Formação Básica
	Engenharia de Software	4	Inf./Lógicos
	Trabalho de Graduação I	4	Engenharia Geral
	Fundamentos da Engenharia da Qualidade	2	Engenharia Geral
	Sistemas de Produção e Organização da Produção	4	Formação Básica
	Laboratório de Controle de Sistemas	2	Lab. Controle
	Robótica Industrial	4	Sist. Mecatrônicos
	Sistemas de Aquisição de Dados	4	Controle e Atuação
10	Estágio Supervisionado	2	Engenharia Geral
	Trabalho de Graduação II	4	Engenharia Geral
	Projeto de Sistemas Mecatrônicos	4	Engenharia Geral
	Engenharia Simultânea	2	Engenharia Geral
	Administração dos Sistemas da Produção	2	Formação Básica
	Inteligência Artificial Aplicada	4	Inf./Lógicos
	Redes de Comunicação em Ambiente Industrial	4	Inf./Materiais
	Automação Industrial	4	Sist. Industriais

Tabela 10 – Estrutura Curricular da Pontifícia Universidade Estadual de Campinas

Fase/Período	Disciplinas	Créditos	Grupo
1	Algoritmos e Estruturas de Dados I	4	Inf./Lógicos
	Cálculo Diferencial e Integral I	6	Cálculo
	Geometria Analítica e Álgebra Linear	4	Geometria
	Química Geral	7	Química
	Fundamentos de Mecânica	4	Física Teórica
	Introdução à Eng. de Controle e Automação	1	Engenharia Geral
2	Efeitos Sociais da Automação	2	Formação Básica
	Proteção Ambiental	2	Formação Básica
	Algoritmos e Estruturas de Dados II	4	Inf./Lógicos
	Fundamentos de Termodinâmica	2	Física Teórica
	Fund. de Mecânica Sólidos e Fluidos	1	Física Teórica
	Fundamentos de Mecânica Ondulatória	1	Física Teórica
	Introdução à Física Experimental	3	Física Exp.
	Sistemas Digitais	6	Inf./Materiais
3	Cálculo Diferencial e Integral II	4	Cálculo
	Análise Numérica	4	Cálculo
	Mecânica Fundamental	4	Física Teórica
	Fundamentos de Eletromagnetismo	4	Física Teórica
	Física Experimental MT	3	Física Exp.
	Cálculo Diferencial e Integral III	4	Cálculo
	Equações Diferenciais A	4	Cálculo
4	Desenho C	4	Desenho Técnico
	Fenômenos de Transporte	3	Física Teórica
	Probabilidade	4	Estatística
	Fundamentos de Óptica	2	Física Teórica
	Fundamentos de Física Moderna	2	Física Teórica
	Física Experimental EO	3	Física Exp.
	Circ. Elétricos p/ Controle e Automação	5	Física Teórica
5	Sistemas Processadores e Periféricos	5	Inf./Materiais
	Fundamentos de Mecânica dos Sólidos	3	Física Teórica
	Eletrônica Analógica e Digital	7	Inf./Materiais
	Sistemas Dinâmicos Lineares	6	Sistemas Lineares
	Informática Industrial	4	Inf./Materiais
	Direito e Legislação	2	Formação Básica
6	Redes de Computadores	4	Inf./Materiais
	Carga de Optativas	4	Optativas
	Máquinas Elétricas e Eletrônica de Potência	7	Sistemas Elétricos
	Engenharia de Controle	4	Controle Clássico
	Instrumentação Industrial	3	Medição
	Automação em Tempo Real	3	Controle Avançado
7	Sistemas de Informação em Indústria	4	Integração
	Carga de Optativas	5	Optativas
	Sistemas Distribuídos para Automação	2	Integração
	Acionamentos Elétricos	5	Sistemas Elétricos
	Controle Digital	4	Controle Clássico
	Economia para Empresas de Engenharia	4	Formação Básica
8	Laboratório de Controle e Automação I	4	Lab. Controle
	Carga de Optativas	5	Optativas
	Sistemas Integrados de Manufatura	4	Sist. Industriais
	Laboratório de Controle e Automação II	4	Lab. Controle
	Comando Numérico de Máquina Ferramenta	3	Sist. Mecânicos
9	Planej. de Trabalho Técnico-Científico	2	Formação Básica
	Carga de Optativas	10	Optativas
	Projeto Final de Curso I	8	Engenharia Geral
	Organização Industrial para a Engenharia	4	Formação Básica
	Carga de Optativas	10	Optativas

10	Projeto Final de Curso II	2	Engenharia Geral
	Estágio Supervisionado - Eng. Cont. e Aut.	6	Engenharia Geral
	Carga de Optativas	9	Optativas
Optativas	Processos Químicos e Petroquímicos	2	Outros Sistemas
	Processos Metalúrgicos	2	Outros Sistemas
	Processos em Engenharia Mineral	2	Outros Sistemas
	Processos de Engenharia de Transportes	2	Outros Sistemas
	Processos Biológicos	2	Outros Sistemas
	Processos Elétricos	2	Sistemas Elétricos
	Processos Térmicos	2	Sist. Mecânicos
	Processos Automotivos	2	Outros Sistemas
	Processos de Manufatura	3	Sist. Mecânicos
	Técnicas de Modelagem de Sistemas Dinâmicos	2	Sistemas em Geral
	Processos Estocásticos	4	Sist. Estocásticos
	Controle Estocástico de Processos	2	Controle Avançado
	Introdução ao Controle Adaptativo	2	Controle Avançado
	Controle Multivariável	3	Controle Avançado
	Tópicos Especiais em Controle de Processos	2	Controle Avançado
	Tópicos Especiais em Teoria de Controle	2	Controle Avançado
	Tópicos Especiais em Instrumentação Industrial	2	Controle e Atuação
	Tópicos Especiais em Engenharia de Controle e Automação	2	
	Sistemas Nebulosos	2	Inf./Lógicos
	Redes Neurais Artificiais	3	Inf./Lógicos
	Sistemas Especialistas Aplicados à Automação	4	Inf./Lógicos
	Introdução a Banco de Dados	4	Inf./Lógicos
	Análise Orientada a Objetos	3	Inf./Lógicos
	Sistemas Operacionais	4	Inf./Materiais
	Dispositivos de Manipulação Robótica	3	Sist. Mecatrônicos
	Introdução à Robótica	4	Sist. Mecatrônicos
	Tópicos Especiais em Robótica	2	Sist. Mecatrônicos
	Tópicos Especiais em Inteligência Artificial	2	Inf./Lógicos
	Projeto de Programas para Sistemas de Automação	2	Sistemas em Geral
	Projeto e Fabricação Assistidos por Computador	3	Engenharia Geral
	Eleticidade Industrial	2	Sistemas Elétricos
	Compatibilidade Eletromagnética para Controle e Automação	2	Sistemas Elétricos
	Princípios de Comunicação	2	Formação Básica
Introdução ao Dimensionamento de Elementos Mecânicos	3	Sist. Mecânicos	
Acionamentos Hidráulicos e Pneumáticos	3	Controle e Atuação	
Gestão do Desenvolvimento de Sist. de Automação Industrial	3	Engenharia Geral	
Variável Complexa	4	Cálculo	
Confiabilidade de Sistemas Automatizados	3	Engenharia Geral	
Segurança e Fiabilidade Operacional	3	Engenharia Geral	
Otimização de Sistemas	3	Engenharia Geral	

Tabela 11 – Estrutura Curricular da Universidade Federal de Minas Gerais

Fase/Período	Disciplinas	Créditos	Grupo
1	Introdução a Eng <sup>a</sup> de Controle e Autom.	4	Engenharia Geral
	Desenho Técnico	3	Desenho Técnico
	Física I	4	Física Teórica
	Introdução à Informática p/ Automação	5	Inf./Lógicos
	Cálculo A	4	Cálculo
	Geometria Analítica	4	Geometria
2	Sistemas Digitais	4	Inf./Materiais
	Física Experimental I	3	Física Exp.
	Física Teórica A	5	Física Teórica
	Fundamentos da Estrut. da Informação	4	Inf./Lógicos
	Cálculo B	4	Cálculo

2	Álgebra Linear	4	Geometria
3	Microprocessadores	4	Inf./Materiais
	Química Tecnológica Geral C	5	Química
	Física Experimental II	3	Física Exp.
	Física Teórica B	5	Física Teórica
	Cálculo Numérico p/ Contr. Automação	4	Cálculo
	Cálculo C	5	Cálculo
4	Circuitos Elétricos p/ Contr. e Automação	6	Física Teórica
	Fenômenos de Transporte	4	Física Teórica
	Sinais e Sistemas Lineares I	6	Sistemas Lineares
	Mecânica dos Sólidos	5	Materiais
	Informática Industrial I	4	Inf./Materiais
5	Processos em Engenharia	3	Sist. Industriais
	Sinais e Sistemas Lineares II	6	Sistemas Lineares
	Eletrônica Básica	6	Inf./Materiais
	Eletricidade Industrial	2	Sistemas Elétricos
	Metodologia para Desenvolvimento de Sistemas	4	Inf./Lógicos
	Estatística e Probabilidade p/ Ciências Exatas	3	Estatística
6	Sistemas Realimentados	6	Controle Clássico
	Informática Industrial II	4	Inf./Materiais
	Acionamentos Elétricos p/ Automação	3	Sistemas Elétricos
	Medição de Grandezas Mecânicas	4	Medição
	Processos de Fabricação Metal-Mecânica	4	Sist. Mecânicos
7	Controle Multivariável	4	Controle Avançado
	Modelagem e Controle de Sistemas Automatizados	4	Cont. a Eventos
	Tecnologia de Comando Numérico	3	Sist. Mecânicos
	Introd. ao Projeto e Manufatura Assistidos por Computador	3	Engenharia Geral
	Acionamentos Hidráulicos e Pneumáticos P/ Automação	3	Controle e Atuação
	Fundamentos de Sistemas de Banco de Dados	3	Inf./Lógicos
	Conservação dos Recursos Naturais	3	Formação Básica
Estágio em Controle e Automação Industrial		Engenharia Geral	
8	Aspectos Econômicos e Sociais da Automação	2	Formação Básica
	Sistemas Não-Lineares	3	Controle Avançado
	Avaliação de Desempenho de Sistemas	4	Sistemas em Geral
	Redes de Computadores p/ Automação Industrial	4	Inf./Materiais
	Sistemas Integrados da Manufatura	5	Sist. Industriais
	Administração de Operações de Manufatura	3	Formação Básica
	Dispositivos de Manipulação: Robótica	3	Sist. Mecatrônicos
9	Sistemas Distribuídos p/ Automação Industrial	3	Integração
	Instrumentação em Controle	4	Controle e Atuação
	Inteligência Artificial Aplicada a Controle e Automação	4	Inf./Lógicos
	Aspectos de Segurança em Sist. de Controle e Automação	2	Engenharia Geral
	Programação Econômica e Financeira	3	Formação Básica
	Integração de Sistemas Corporativos	4	Sist. Industriais
10	Projeto de Fim de Curso	25	Engenharia Geral
PAM Programa Avançado em Matemática	H-Cálculo I	6	Cálculo
	H-Cálculo II	6	Cálculo
	H-Cálculo III	6	Cálculo
	H-Cálculo IV	6	Cálculo
	H-Álgebra I	6	Geometria
	H-Álgebra II	6	Geometria
	H-Álgebra III	6	Geometria
	H-Análise Linear	6	Geometria

Tabela 12 – Estrutura Curricular da Universidade Federal de Santa Catarina

## ANEXO D – ESCOLA VIRTUAL DE CONTROLE

Nas tabelas a seguir são apresentados os desempenhos dos alunos quando da aplicação da Escola Virtual de Controle na disciplina de Sinais e Sistemas Lineares, descrita na seção 5.6. As disciplinas que compõem o “currículo específico” (diretamente ligadas às bases racionais da engenharia de controle) estão destacadas em cinza.

Disciplina	Alunos														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Introdução à Eng. de C&A		8,5						9,5							
Desenho Técnico I	9,0	9,0	8,5	6,0	8,5	9,5	6,0	8,0	8,0	8,0	8,5	6,0	8,0	8,0	9,0
Física I	8,0	6,0	8,0	7,0	8,0	7,5	6,5	6,0	7,0	8,5	6,5	6,5	8,0	7,5	7,5
Int. à Informática p/ Automação	7,0	7,0	9,0	10	9,0	6,5	6,0	8,0	8,5	6,5	8,0	9,5	9,0	9,0	8,0
Cálculo A	7,0	7,0	6,5	7,5	8,5	7,5	6,0	8,0	9,0	7,5	7,0	7,0	9,0	8,5	7,5
Álg. Linear e Geometria Anal. I	7,5	7,0	8,0	8,0	8,0	7,0	6,0	9,5	8,5	6,5	6,5	6,5	8,5	7,5	7,0
Conserv. dos Recursos Naturais	8,5	9,0	8,5	8,0	8,0	8,5	8,5	8,0	9,0	8,0	8,5	10	8,5	7,5	8,0
Física Experimental I	7,0	7,0	8,5	4,5	8,0	7,5	4,5	8,0	8,0	7,0	8,0	6,0	8,5	8,5	7,0
Física Teórica A	6,0	6,0	7,0	10	8,0	9,5	8,5	8,0	8,0	6,0	6,0	6,5	7,0	7,5	4,0
Fund. da Estrutura da Informação	10	7,5	10	8,5	10	9,5	6,0	8,5	10	9,5	9,5	7,5	10	10	9,5
Cálculo B	7,0	6,0	6,0	7,0	8,0	7,5	3,0	9,0	9,0	6,0	6,0	6,0	8,5	7,0	7,0
Álg. Linear e Geometria Anal. II	8,0	6,0	8,5	6,0	7,5	7,0	2,0	8,0	9,0	6,0	8,0	3,0	8,5	9,0	8,0
Sistemas Digitais	5,0	8,5	8,5	6,5	9,0	8,0	6,0	6,5	8,0	6,0	7,0	6,5	7,5	8,0	6,5
Fenômenos dos Transportes	6,5	7,0	8,0	6,0	6,5			8,5	8,0	6,0	7,0	6,5	8,0	7,5	6,0
Física Experimental II	6,5	8,5	7,0	6,5	7,0	7,5	5,0	7,0	8,5	6,0	7,5	6,0	8,5	7,5	6,5
Física Teórica B	6,5	6,0	7,5	7,0	6,5	8,0	1,5	6,5	8,5	6,5	6,5	3,5	8,0	6,0	7,0
Cálculo Num. para Eng. Elétrica	6,5	6,5	7,0	6,0	6,5	7,0		6,0	6,5	3,5	6,0	2,0	7,5	7,5	6,5
Cálculo C	3,5	6,5	6,0	7,0	6,5	8,0	1,5	9,0	8,5	3,5	6,0	4,5	7,0	7,0	7,0
Circuitos Elétricos p/ C&A	6,0	6,5	1,5	6,0	6,0	6,0	1,5	6,5	4,5	6,0	3,0	1,0	5,0	6,5	5,0
Microprocessadores	5,5	8,0	9,5	6,0	9,5	2,0	4,5	5,5	9,0	7,0	8,5	6,0	7,5	8,5	7,5
Mecânica Geral	6,5	6,0	6,0	6,0	3,5	7,0	6,0	6,5	5,0	7,5	5,0	3,0	7,5	6,0	2,0
Fund. Matemáticos p/ C&A	7,0	7,5	6,0	7,5	6,0	8,0	7,0	9,0	8,0	7,5	8,0	7,5	8,0	8,0	6,0
Sinais e Sist. Lineares (Reprov.)	1,5	3,0	2,0	5,0	3,0	5,0	2,0	3,0	3,0	3,0	4,0	3,0	5,0	0,0	3,0
Médias Gerais	6,9	7,1	7,4	7,0	7,5	7,5	5,1	7,7	8,0	6,6	7,0	5,8	8,0	7,7	6,8
Médias Específicas	6,7	6,7	6,8	7,2	7,4	7,5	4,3	8,8	8,7	6,2	6,9	5,8	8,3	7,8	7,1
Sinais e Sist. Lineares	8,0	6,0	6,0	6,5	6,5	3,0	5,0	6,5	5,0	6,0	6,5	5,0	7,5	6,0	7,5
Sinais - Média Geral	1,1	-1,1	-1,4	-0,5	-1,0	-4,5	-0,1	-1,2	-3,0	-0,6	-0,5	-0,8	-0,5	-1,7	0,7
Sinais - Média Específica	1,3	-0,7	-0,8	-0,7	-0,9	-4,5	0,8	-2,3	-3,7	-0,2	-0,4	-0,8	-0,8	-1,8	0,4
Inscrição na EVC / Semestre	,04	,18	,18	,19	,43	,50	,54	,83							

Tabela 13 – Desempenho dos alunos repetentes de todas as turmas

Disciplina	Alunos																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Introdução à Eng. de C&A	8,0	8,5	9,5	8,0	9,5	9,5			8,5	8,5	8,0	9,0	8,5	8,0	8,0				8,0	9,5
Desenho Técnico I	8,0	9,0	9,0	8,5	9,5	7,0	9,0	7,0	7,0	9,0	7,5	9,5	7,0	8,5	9,0	6,0	8,5	7,0	6,0	9,0
Física I	8,0	8,0	8,5	8,0	8,0	7,0	7,0	8,0	8,0	9,0	8,5	8,5	8,0	6,0	8,5	6,5	7,0	7,0	7,0	9,0
Int. à Informática p/ Automação	9,0	8,0	10	9,0	8,5	8,5	9,0	8,0	9,0	8,5	9,5	8,0	7,5	8,5	8,5	2,0	9,5	7,5		9,0
Cálculo A	8,5	9,0	9,0	10	7,5		7,0	7,0	7,5	9,5	8,5	8,0	9,0	6,5	7,5	8,0	6,5	6,0	7,0	9,5
Alg. Linear e Geometria Anal. I		8,0	8,0	9,5	7,0	7,5	8,0	6,5	7,5	9,0	7,5	7,0	7,0	8,5	7,5	7,0	7,5		8,0	8,5
Conserv. dos Recursos Naturais	9,0	9,0	9,5	8,5	8,5	9,0	7,0	7,5	9,0	9,5	7,0	8,0	8,5	7,0	8,5	8,0	8,0	7,5	8,0	7,0
Física Experimental I	7,5	8,0	9,0	8,0	8,5	7,5	7,0	6,5	8,0	8,5	6,5	8,5	7,5	8,0	9,0	9,0	7,0	7,0	7,0	8,5
Física Teórica A	8,0	8,0	8,0	9,0	6,0	6,5	5,0	6,0	6,0	8,0	8,5	9,0	8,0	8,0	7,0	6,0	6,0	9,0	7,0	7,5
Fund. da Estrutura da Informação	7,5	8,5	8,0	10	9,0	8,0	8,0	7,0	8,0	10	6,5	7,5	8,0	7,0	7,5	8,0	6,5	9,5		9,5
Cálculo B	7,0	8,5	8,0	7,0	7,0	8,0	6,5	7,0	6,5		9,0	7,5	7,0	7,0	8,5	7,0	6,5	6,0	7,0	8,0
Alg. Linear e Geometria Anal. II	6,5	7,0	7,5	8,0		8,5	6,0	2,0	7,0	8,0	7,5	7,5	7,0	9,0	8,0	6,0	6,5	4,5	8,0	6,5
Sistemas Digitais	8,0	8,5	8,5	9,0	8,0	9,5	7,5	7,5	6,5	9,0	7,5	8,0	7,5	6,5	8,0	1,5	0,0	6,0	8,5	8,0
Fenômenos dos Transportes	6,0	6,0	7,0	8,5	6,0	6,5	7,5	6,0		8,0	6,0	6,5	6,0	6,0	6,0	7,0	1,5	1,5	6,0	6,5
Física Experimental II	9,0	7,5	8,0	6,0	7,0	10	6,0	7,5	8,0	9,0	8,5	6,0	7,5	6,0	7,0	7,0	6,0	6,0	7,5	8,0
Física Teórica B	8,5	10	7,0	10	6,0	9,5	6,5	4,0	6,0	8,0	7,5	7,5	6,0	6,5	7,5	6,0	6,0	7,5	7,5	6,0
Cálculo Num. para Eng. Elétrica	8,0	9,0	8,0	8,5	8,5	9,0	6,5	7,0	7,0	8,5	8,0	8,0	7,5		8,0	6,5	1,0	6,5		6,5
Cálculo C	7,0	8,5	8,0	9,0	8,0	9,0	9,0	9,0	6,0	8,0	6,5	9,0		6,5	7,5	6,5	3,5	3,5	7,0	6,0
Circuitos Elétricos p/ C&A	7,5	10	8,0	8,0	8,0	8,0	6,0	7,5	7,5	8,0	9,0	7,0	7,5	6,0	7,5	6,5	4,5	6,5	7,0	7,0
Microprocessadores	8,0	9,0	9,0	8,5	7,0	7,5	8,0	7,5	8,5	9,5	8,5	7,5	8,0	7,5	7,0	7,5	2,0	8,0	7,5	6,0
Mecânica Geral	6,0	10	6,0	8,0	7,0	6,5	7,0	6,0	6,0	8,5	7,0	6,0	8,0	3,5	6,0	5,0	2,0	2,0	6,5	9,0
Fund. Matemáticos p/ C&A	7,5	8,0	7,0	9,0	7,0	8,5	7,5	7,0	7,0		8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	8,0	6,5	7,0	6,5	6,0
Médias Gerais	7,8	8,5	8,2	8,5	7,7	8,1	7,2	6,7	7,4	8,6	7,8	7,8	7,5	7,0	7,7	6,4	5,4	6,3	7,2	7,8
Médias Específicas	7,6	8,3	7,9	8,7	7,5	8,2	7,2	6,5	6,9	8,4	7,9	7,7	7,4	7,4	7,7	7,0		5,9	7,2	7,3
Sinais e Sist. Lineares	7,5	9,0	7,0	7,5	8,5	8,5	6,5	6,5	5,0	8,0	7,5	6,0	7,5	5,0	6,5	6,5	5,0	5,0	5,0	7,5
Sinais - Média Geral	-0,3	0,5	-1,2	-1,0	0,8	0,4	-0,7	-0,2	-2,4	-0,6	-0,3	-1,8	0,0	-2,0	-1,2	0,1	-0,4	-1,3	-2,2	-0,3
Sinais - Média Específica	-0,1		-0,9	-1,2	1,0	0,3	-0,7	0,0	-1,9	-0,4	-0,4	-1,7	0,1	-2,4	-1,2	-0,5	-0,4	-0,9		0,2
Inscrição na EVC / Semestre	,02	,02	,05	,07	,07	,07	,07	,08	,13	,21	,22	,24	,25	,47	,56					

Tabela 14 – Desempenho dos alunos não repetentes da Turma 2001/2

Disciplina	Alunos																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Introdução à Eng. de C&A	8,5	7,0		8,5	8,5		8,5	7,0	8,5	8,0	9,0	9,0	8,5		8,5	9,0	8,0	8,5
Desenho Técnico I	8,0	8,5	7,0	8,0	10	6,5	9,0	8,0	9,5	9,5	10	6,0	10	8,0	10	10	10	9,0
Física I	9,0	8,5	7,0	8,0	9,0	7,5	9,5	7,5	10	8,5	9,5	9,0	9,5	7,0	10	7,5	9,0	8,0
Int. à Informática p/ Automação	9,0	8,0	6,5	8,0	9,5	6,0	8,5	7,0	9,5	10	9,5	7,5	10	8,0	10	9,0	8,5	10
Cálculo A	8,0	10	7,0	9,0	9,0		9,5	9,0	9,0	8,0	9,0	7,0	9,5	6,5	9,5	7,5	8,0	8,5
Alg. Linear e Geometria Anal. I	9,5	9,0		7,5	10	8,5	8,0	8,5	7,5	8,0	8,5	7,0	10	6,0	9,0	6,5	9,0	7,0
Conserv. dos Recursos Naturais	8,0	9,0	8,0	6,5	8,5	8,5	8,5	9,0	8,5	9,5	9,0	9,5	9,0	7,0	9,5	8,5	9,0	9,0
Física Experimental I	8,5	8,0	6,0	8,5	9,0	8,0	9,0	7,5	7,5	9,0	9,5	7,0	9,5	7,0	9,5	7,5	8,5	9,0
Física Teórica A	8,0	7,5	6,5	9,0	9,5	6,0	7,0	6,0	8,5	7,0	8,0	7,0	9,0	2,0	9,0	6,5	7,0	7,0
Fund. da Estrutura da Informação	9,5	7,0	7,5	9,5	9,5	6,5	8,0	8,5	9,5	8,5	9,5	7,0	10	7,5	9,0	8,5	9,0	9,0
Cálculo B	7,5	8,0	4,5	9,0	9,0	6,0	8,0	7,0	8,5	7,5	8,0	6,5	10	3,0	8,5	6,5	8,0	
Alg. Linear e Geometria Anal. II	7,0	8,5	7,0	8,0	9,5		9,0	4,5	9,5	7,5	9,0	6,0	10		10	8,0	10	9,0
Sistemas Digitais	8,5	8,0	8,0	8,0	8,5	7,0	7,0	7,5	9,0	9,0	9,5	7,5	9,5	6,0	9,0	8,5	7,5	7,5
Fenômenos dos Transportes	7,5	6,0	4,5	6,5	7,5	6,0	6,0	6,0	10	7,5	7,5	6,5	10	7,5	7,0	6,5	8,0	6,0
Física Experimental II	8,5	8,5	8,0	9,0	8,0	6,5	7,5	9,0	9,0	8,5	8,5	8,0	9,5	6,5	8,5	9,0	9,5	7,0
Física Teórica B	7,5	6,0	6,5	7,0	8,5	6,0	6,5	7,0	9,5	7,0	7,5	6,0	9,5	4,5	8,0	6,0	7,0	6,0
Cálculo Num. para Eng. Elétrica	9,0	8,0			9,0	6,5	6,0	8,0	9,0	7,0	8,0	6,0	9,0	0,0	9,0	6,5	6,5	7,5
Cálculo C	7,5	7,0	6,5	8,5	8,5	6,0	7,5	9,0	9,5	6,0	8,0	6,0	9,5	3,0	6,5	6,0	7,0	6,0
Circuitos Elétricos p/ C&A	7,0	6,5	7,0	7,0	8,0	6,0	6,0	7,0	6,5	6,0	6,5	6,0	7,5	7,5	8,0	6,0	7,0	7,0
Microprocessadores	8,5	6,0	6,0	7,0	7,0	3,0	6,5	9,0	9,0	8,0	8,0	6,0	8,0	8,0	7,5	7,5	7,0	8,0
Mecânica Geral	6,5	6,5	1,5	6,5	8,0	1,0	6,0	5,0	9,5	7,0	10	8,0	10	1,0	10	7,5	9,0	8,0
Fund. Matemáticos p/ C&A	8,0	7,0	7,0	8,5	9,5	7,5	7,0	7,0	9,0	6,5	9,5	7,0	10	6,0	9,0	6,0	7,5	7,5
Médias Gerais	8,1	7,7	6,5	8,0	8,8	6,3	7,7	7,5	8,9	7,9	8,7	7,1	9,4	5,5	8,9	7,5	8,2	7,8
Médias Específicas	8,1	8,2	6,6	8,4	9,2	6,9	7,9	7,6	8,9	7,2	8,6	6,5	9,7	3,9	8,8	6,7	8,0	7,6
Sinais e Sist. Lineares	8,5	8,5	7,0	6,5	9,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	6,0	8,5	2,0	8,5	6,5	6,5	6,5
Sinais - Média Geral	0,4	0,8	0,5	-1,5	0,2	1,2	-1,7	-1,0	-1,9	-0,4	-0,7	-1,1	-0,9	-3,5	-0,4	-1,0	-1,7	-1,3

Sinais - Média Específica	0,4	0,3	0,4	-1,9	-0,2	0,6	-1,9	-1,1	-1,9	0,3	-0,6	-0,5	-1,2	-1,9	-0,3	-0,2	-1,5	-1,1
Inscrição na EVC / Semestre	,02	,02	,02	,02	,02	,03	,03	,03	,03	,03	,03	,04	,04	,04	,04	,06	,06	,08

Tabela 15 – Desempenho dos alunos não repetentes da Turma 2002/1 (Parte I)

Disciplina	Alunos																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Introdução à Eng. de C&A	8,5	9,0	8,0		8,5	9,0	9,0	9,0	8,5	8,5	9,0	8,5	8,5	7,5		8,5	8,5
Desenho Técnico I	8,5	9,5	9,5	9,5	10	10	8,5	8,5	9,5	9,5	10	9,5	8,5	9,0	6,0	9,0	9,0
Física I	8,0	9,0	9,5	6,0	8,0	9,0	7,5	8,5	8,0	8,0	9,5	9,0	8,0	8,5	7,5	8,0	9,0
Int. à Informática p/ Automação	9,5	10	9,0	10	8,0	9,5	7,0	8,5	8,5	9,0	10	9,5	7,5	9,0	7,0	9,0	9,0
Cálculo A	8,0	9,0	8,5	7,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,0	9,0	9,0	9,0	8,5	8,5	6,0	9,0	8,5
Álg. Linear e Geometria Anal. I	7,5	9,0	9,0	7,0	8,0	8,0	6,5	7,0	7,5	6,5	8,0	9,0	9,0	9,0	6,0	9,0	7,5
Conserv. dos Recursos Naturais	6,0	10	7,0	9,5	8,5	8,0	9,0	8,5	9,0	9,0	9,0	9,5	7,5	7,5	8,0	8,5	9,0
Física Experimental I	7,5	9,0	9,0	7,0	8,0	8,5	9,0	8,0	8,0	7,5	8,5	9,0	8,0	7,5	7,0	8,5	9,0
Física Teórica A	6,0	8,5	9,0	5,0	8,0	6,5	6,5	9,5	6,5	8,5	7,5	7,5	7,0	8,0	4,5	6,5	6,5
Fund. da Estrutura da Informação	9,5	10	10	0,0	7,5	8,0	8,0	10	7,0	9,5	9,0	9,0	9,0	6,5	9,5	9,0	7,5
Cálculo B	6,5	9,0	8,5	6,0	8,5	8,0	8,0	8,0	7,0	6,5	7,5	8,5	9,0	6,5	7,5	7,5	8,0
Álg. Linear e Geometria Anal. II	6,0	8,5	9,5	7,0	10	9,5	9,0	7,0	8,0	10	8,0	9,0	9,0	7,5	6,0	9,5	8,5
Sistemas Digitais	8,5	8,5	9,0	5,0	7,5	8,0	7,0	7,5	7,0	9,0	8,0	7,5	6,5	9,0	1,0	8,5	8,0
Fenômenos dos Transportes	7,0	7,5	8,0	0,0	7,0	8,0	7,0	8,5	7,0	6,5	7,0	7,0	8,5		6,0	7,5	6,0
Física Experimental II	7,5	8,5	7,5	7,0	9,0	7,5	5,5	9,5	9,0	8,5	9,0	8,5	8,5	9,5	6,5	8,0	9,0
Física Teórica B	6,0	8,5	9,5	6,0	6,5	6,0	7,5	7,5	6,5	7,0	9,0	8,0	6,0	7,0	4,5	8,0	7,0
Cálculo Num. para Eng. Elétrica	8,0	8,5	7,5		6,0	7,5	6,5	7,5	8,0	6,5	7,5	8,0	6,5			7,0	6,5
Cálculo C	6,0	9,0	8,5	5,0	7,0	6,5	6,5	8,5	7,5	6,0	8,5	7,5	6,5	6,0	6,5	6,0	6,0
Circuitos Elétricos p/ C&A	8,0	8,5	8,0	6,0	7,5	6,0	6,0	6,5	7,5	7,5	8,0	8,0	6,0	3,0	5,0	6,5	6,5
Microprocessadores	7,0	10	8,0	7,5	6,5	7,0	8,0	7,0	7,0	6,5	7,0	7,5	6,0	7,5	1,0	6,0	8,5
Mecânica Geral	4,5	9,0	8,0	6,0	8,0	8,0	7,0	8,5	7,0	9,0	9,0	9,0	6,0	5,0	1,5	8,0	10
Fund. Matemáticos p/ C&A	7,0	9,5	9,5	7,0	7,5	6,5	6,5	9,0	8,0	8,0	9,0	9,0		7,0	6,0	7,0	6,5
Médias Gerais	7,3	9,0	8,6	6,2	7,9	7,9	7,5	8,2	7,7	8,0	8,5	8,5	7,5	7,5	5,7	7,9	7,9
Médias Específicas	7,0	8,9	8,7	6,6	7,9	7,8	7,4	7,9	7,7		8,2	8,6	7,8	7,4	6,3		7,4
Sinais e Sist. Lineares	6,5	8,5	9,5	2,5	6,5	6,0	6,5	6,0	7,5	7,0	8,5	9,0	6,0	7,0	2,5	7,0	6,0
Sinais - Média Geral	-0,8	-0,5	0,9	-3,7	-1,4	-1,9	-1,0	-2,2	-0,2	-1,0	0,0	0,5	-1,5	-0,5	-3,2	-0,9	-1,9
Sinais - Média Específica	-0,5	-0,4	0,8	-4,1	-1,4	-1,8	-0,9	-1,9		-0,5	0,3	0,4	-1,8	-0,4		-0,9	-1,4
Inscrição na EVC / Semestre	,08	,08	,09	,27	,28	,36	,47	,61	,75								

Tabela 16 – Desempenho dos alunos não repetentes da Turma 2002/1 (Parte II)

Disciplina	Alunos																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Introdução à Eng. de C&A	8,0	8,5	8,0	8,0	8,0	8,0	8,5	8,0	7,0	8,0	8,5	8,0		6,5	9,0			7,5	8,5
Desenho Técnico I	10	8,0	9,0	8,5	9,5	9,0	9,0	8,5	7,0	9,5	7,5	7,5	7,5	8,5	9,0	8,0	7,0	8,0	7,0
Física I	10	7,5	7,5	8,5	6,5	6,5	8,5	8,0	7,0	6,0	7,0	8,0	5,0	9,0	9,5	8,0	7,5	7,0	8,5
Int. à Informática p/ Automação	8,0	8,0	7,0	8,5	8,5	8,5	8,5	9,0	10	8,0	8,0	8,5	7,0	8,5	9,5	6,5	8,0	8,0	8,0
Cálculo A	8,0	8,0	6,5	9,0	6,5	8,0	7,0	8,5	8,5	8,5	6,0	8,5	6,5	8,5	7,5	7,0	7,0	8,0	9,5
Álg. Linear e Geometria Anal. I	8,5	9,0	7,0	9,0	6,5	8,0	8,5	9,5	7,5	8,5	8,5	9,5	8,0	9,0	9,5	6,0	7,0	7,5	9,0
Conserv. dos Recursos Naturais	8,0	9,5	8,5	10	7,5	8,5	8,5	10	8,5	9,0	9,5	9,5	6,0	8,5	8,5	8,0	8,5	6,0	8,5
Física Experimental I	7,0	9,0	9,0	7,5	6,5	8,0	8,5	9,0	8,0	8,5	8,0	9,0	6,0	7,0	9,5	6,0	6,5	5,5	8,0
Física Teórica A	7,0	6,0	8,0	7,0	6,0	6,5	8,0	7,5	7,5	6,5	6,0	7,5	6,0	6,5	8,5	6,0	7,5	6,5	7,5
Fund. da Estrutura da Informação	7,5	8,0	7,0	8,5	7,5	8,0	9,0	7,0	9,5	8,5	8,0	7,0	0,0	8,0	9,0	6,0	7,0	8,0	9,0
Cálculo B	7,5	8,5	8,5	8,0	7,0	8,0	8,0	8,5	7,5	8,5	8,0	9,0	4,0	9,0	8,0	6,0	6,0	8,0	9,5
Álg. Linear e Geometria Anal. II	8,0	9,0	8,5	7,5	7,5	7,5	8,0	9,5	7,0	6,5	7,0	8,0	6,0	7,0	8,0	6,0	7,0	7,5	9,0
Sistemas Digitais	8,5	9,0	8,0	7,5	6,5	9,0	8,5	9,5	8,0	8,0	8,0	6,0	3,0	6,0	9,0	4,5	6,5	2,0	6,0
Fenômenos dos Transportes	7,5	8,0	8,0	8,0	6,0	7,0	7,0	8,0	6,0	6,0	7,0	6,0	6,0	7,0	8,5	7,0	6,0	6,0	7,0
Física Experimental II	9,0	9,5	10	8,5	8,5	9,5	10	8,0	8,5	8,0	8,5	7,5	6,0	8,5	9,5	6,0	9,0	4,0	9,0
Física Teórica B	7,0	9,5	7,5	7,0	6,5	9,0	8,0	8,0	5,0	7,5	7,0	7,0	6,5	8,5	9,0	8,5	6,5	6,5	8,5
Cálculo Num. para Eng. Elétrica	7,0	7,0	6,0		6,0	7,5	7,0	7,0	7,0	6,5	6,0	6,0		7,5	7,0	7,0	6,0		6,5
Cálculo C	8,0	7,0	6,5	7,0	6,5	8,5	7,5	9,0	6,0	7,5	6,0	7,5	6,5	6,5	8,5	3,0	7,5	6,5	8,0
Circuitos Elétricos p/ C&A	6,0	8,5	6,5	6,0	4,0	8,0	9,5	10	5,0	6,0	6,0	7,5	6,0	8,5	7,5	1,5	7,0	6,0	8,0
Microprocessadores	8,5	8,0	8,0	8,0	2,0	8,5	9,0	9,5	6,5	7,5	7,5	6,0	8,0	7,5	9,0	6,0	6,5	8,0	6,5
Mecânica Geral	7,0	6,5	6,0	7,0	8,5	6,0	8,0	7,0	8,0	6,5	7,0	6,5	1,0	7,0	7,0	9,0	6,0	6,0	6,5
Fund. Matemáticos p/ C&A	8,0	9,0	7,5	7,5	7,5	8,5	8,0	8,0	7,0	6,0	7,0	6,0	4,0	7,5	8,5	6,0	7,0	6,0	7,5
Médias Gerais	7,9	8,2	7,7	7,9	6,8	8,0	8,3	8,5	7,4	7,5	7,4	7,5	5,5	7,8	8,6	6,3	7,0	6,6	8,0

Médias Específicas	7,9	8,2	7,2	8,0	6,8		7,7	8,6	7,2	7,4	6,9	7,8	5,8	7,9	8,1	5,9	6,8	7,3	8,4
Sinais e Sist. Lineares	8,5	7,0	7,0	7,5	6,5	7,5	6,5	7,0	6,0	5,0	5,0	7,0	1,5	6,5	7,0	4,0	0,0	0,0	6,0
Sinais - Média Geral	0,6	-1,2	-0,7	-0,4	-0,3	-0,5	-1,8	-1,5	-1,4	-2,5	-2,4	-0,5	-4,0	-1,3	-1,6	-2,3	-7,0	-6,6	-2,0
Sinais - Média Específica	0,6	-1,2	-0,2	-0,5	-0,3	-0,5	-1,2	-1,6	-1,2	-2,4	-1,9	-0,8	-4,3	-1,4	-1,1	-1,9	-6,8	-7,3	-2,4
Inscrição na EVC / Semestre	,06	,06	,08	,08	,08	,11	,17	,22	,23	,35	,35								

Tabela 17 – Desempenho dos alunos não repetentes da Turma 2002/2

Disciplina	Alunos														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Introdução à Eng. de C&A	8,5	8,0	8,5	8,5	8,0	8,0	9,5	8,0	8,5	8,0	8,0	8,0	7,0	7,0	8,0
Desenho Técnico I	8,0	10	10	8,0	7,5	9,0	9,0	8,0	7,5	10	9,0	7,5	9,0	6,0	9,0
Física I	7,0	8,0	8,5	9,0	7,0	7,5	7,5	9,0	10	9,5	8,5	4,5	6,5	8,0	8,5
Int. à Informática p/ Automação	6,5	10	10	9,0	8,5	7,0	8,5	7,5	8,5	8,5	8,0	6,5	7,5	8,0	10
Cálculo A	9,0	8,0	7,0	9,0	7,5	8,0	6,5	7,0	9,5	8,0	6,5	6,0	6,0	8,0	8,5
Alg. Linear e Geometria Anal. I	6,5	8,5	9,5	9,0	9,0	8,0	7,5	7,5	8,5	9,0	7,5	7,0	6,0	7,0	9,5
Conserv. dos Recursos Naturais	9,0	7,0	9,0	9,0	10	8,5	8,0	7,5	9,5	9,5	9,0	9,5	8,5	8,5	8,5
Física Experimental I	8,5	8,5	7,5	8,5	8,0	9,5	8,0	8,5	9,0	8,5	9,0	8,5	6,0	9,5	9,0
Física Teórica A	6,5	8,0	7,0	8,0	7,5	8,5	6,0	6,5	8,0	8,5	8,0	6,0	5,0	8,0	8,5
Fund. da Estrutura da Informação	7,0	9,5	10	7,0	9,0	8,5	8,5	8,0	10	9,5	10	5,5	5,5	9,5	8,0
Cálculo B	8,5	8,0	8,0	8,5	7,5	7,5	6,5	9,0	9,5	9,0	8,5	6,0	6,0	7,5	7,5
Alg. Linear e Geometria Anal. II	8,5	9,0	9,5	9,5	8,5	9,0	9,0	8,5	10	10	9,5	5,0	6,0	9,5	8,5
Sistemas Digitais	8,0	9,5	7,5	8,5	8,0	9,0	6,5	8,0	9,0	7,5	8,5	8,0	8,5	8,5	7,0
Fenômenos dos Transportes	6,0	6,0	8,0	7,5	6,0	7,0	6,0	7,0	8,5	8,0	6,0	8,0	8,5	6,5	9,0
Física Experimental II	8,5	7,5	8,5	10	6,0	8,5	8,5	8,0	8,5	9,5	10	6,0	10	8,5	8,0
Física Teórica B	8,0	7,0	8,0	9,0	7,0	6,5	7,5	7,0	9,0	8,0	8,0	7,5	8,5	8,0	8,0
Cálculo Num. para Eng. Elétrica		8,5	8,5		7,0	8,0	7,0	8,0	9,5	8,0	8,5			9,0	
Cálculo C	6,5	6,0	6,5	9,5	7,5	6,5	6,5	6,5	8,0	8,0	6,5	8,5	6,0	8,0	8,5
Circuitos Elétricos p/ C&A	6,5	6,0	8,0	7,0	6,5	6,0	6,5	6,5	8,0	7,0	6,0	6,0	6,0	6,0	8,0
Microprocessadores	6,0	8,5	9,0	8,5	7,0	7,0	6,0	6,0	9,0	7,5	7,0	7,5	6,5	8,5	8,5
Mecânica Geral	7,0	8,0	8,5	8,0	6,0	8,5	9,0	7,0	8,0	8,0	7,5	7,0	8,5	8,0	6,5
Fund. Matemáticos p/ C&A	6,5	8,0	7,5	7,5	6,0	7,5	8,0	6,5	8,0	6,0	6,5	6,5	10	6,0	8,0
Médias Gerais	7,5	8,1	8,4	8,5	7,5	7,9	7,5	7,5	8,8	8,4	8,0	6,9	7,2	7,9	8,3
Médias Específicas	7,6	8,0	8,1	8,8	7,6	7,8	7,3	7,6	9,0	8,3	7,6	6,5	6,7	7,9	8,4
Sinais e Sist. Lineares	6,0	8,5	7,0	8,0	7,5	3,0	6,5	6,5	7,5	6,5	7,0	7,0	7,0	6,5	8,0
Sinais - Média Geral	-1,5	0,4	-1,4	-0,5	0,0	-4,9	-1,0	-1,0	-1,3	-1,9	-1,0	0,1	-0,2	-1,4	-0,3
Sinais - Média Específica	-1,6	0,5	-1,1	-0,8	-0,1	-4,8	-0,8	-1,1	-1,5	-1,8	-0,6	0,5	0,3	-1,4	-0,4
Inscrição na EVC / Semestre	,01	,02	,02	,02	,03	,05	,09	,10	,19						

Tabela 18 – Desempenho dos alunos não repetentes da Turma 2003/1 (Parte I)

Disciplina	Alunos														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Introdução à Eng. de C&A	7,5	8,0	7,5	9,0	8,0	8,0	8,0		8,0	8,5		8,5	8,5	7,0	8,5
Desenho Técnico I	9,5	10	7,0	8,0	8,0	9,0	8,5	7,5	9,5	7,0	8,5	9,5	9,5	7,5	9,0
Física I	9,5	9,5	7,5	8,0	7,5	8,5	9,5	8,0	9,5	9,0	8,5	7,5	9,0	8,5	10
Int. à Informática p/ Automação	7,0	10	7,5	7,0	8,5	7,0	8,0	8,0	8,5	7,5	7,5	8,5	8,5	8,5	8,0
Cálculo A	9,0	8,5	6,0	7,5	6,0	7,5		8,0	8,0	8,0	6,0	6,0	8,0	6,0	9,0
Alg. Linear e Geometria Anal. I	8,5	9,0	7,5	8,0	8,0	8,5	9,0	8,0	9,0	8,5	10	9,5	8,5	7,5	9,5
Conserv. dos Recursos Naturais	7,5	9,5	8,5	9,5	8,0	8,0	9,0	7,0	9,5	8,0	8,0	9,0	8,5	8,0	9,0
Física Experimental I	8,5	9,5	9,5	7,0	8,0	9,0	9,0	6,5	9,0	8,5	8,0	9,0	9,5	8,0	9,0
Física Teórica A	8,0	8,0	8,0	7,5	7,0	7,5	9,0	6,0	8,0	7,0	4,5	7,5	8,0	6,0	10
Fund. da Estrutura da Informação	8,5	9,0	8,5	7,0	9,0	9,0	9,0	6,5	10	8,5	9,5	8,5	9,5	8,5	9,0
Cálculo B	8,0	9,5	7,0	7,0	9,0	7,5	8,5	6,0	6,5	8,0	7,5	9,5	10	6,5	
Alg. Linear e Geometria Anal. II	9,5	9,5	6,5	6,0	8,5	9,0	9,5	6,0	8,5	9,0	7,0	8,5	9,0	6,5	10
Sistemas Digitais	8,0	9,5	8,5	6,5	8,0	7,5	8,0	8,5	7,0	9,0	6,5	9,0	7,5	6,0	8,5
Fenômenos dos Transportes	6,0	8,0	7,5	6,0	8,5	7,5	6,5	6,0	7,5	6,5	7,0	7,0	6,0	8,0	7,5
Física Experimental II	8,0	8,0	6,0	7,0	8,0	8,0	9,0	8,0	8,5	8,5	6,5	8,5	9,5	9,5	9,0
Física Teórica B	8,5	7,0	8,0	6,5	8,0	8,0	8,0	3,5	10	8,0	7,0	9,0	8,0	6,0	7,5
Cálculo Num. para Eng. Elétrica	8,0	8,5	7,0		9,0	9,0	7,5		9,5	9,0	6,0	9,0	8,5	6,5	9,5
Cálculo C	7,5	9,0	7,0	6,0	8,0	8,0	7,0	3,0	7,5	7,5	7,5	6,5	6,5	7,0	9,0
Circuitos Elétricos p/ C&A	6,0	6,5	6,0	3,0	6,0	6,5	8,5	7,5	6,5	7,5	4,5	6,5	7,5	6,0	7,0
Microprocessadores	8,0	9,5	6,0	8,0	6,0	7,5	7,0	7,5	7,5	7,0	6,0	7,5	7,5	6,0	8,5

Mecânica Geral	8,0	9,0	7,0	6,0	7,5	8,0	8,0	7,0	7,0	7,0	10	8,5	9,0	8,0	7,0
Fund. Matemáticos p/ C&A	7,0	6,5	7,5	7,5	6,0	9,5	7,5	6,0	8,0	6,5	7,0	6,0	7,5	7,5	6,5
Médias Gerais	8,0	8,7	7,3	7,0	7,8	8,1	8,3	6,7	8,3	7,9	7,3	8,1	8,4	7,2	8,7
Médias Específicas	8,2	8,6	6,9	7,0	7,8	8,4	8,2	6,2	8,1	8,1	7,3	7,9	8,3	6,8	9,0
Sinais e Sist. Lineares	7,0	7,5	2,5	6,5	7,0	7,0	7,0	0,5	7,5	7,0	1,0	6,5	7,5	6,0	7,0
Sinais - Média Geral	-1,0	-1,2	-4,8	-0,5	-0,8	-1,1	-1,3	-6,2	-0,8	-0,9	-6,3	-1,6	-0,9	-1,2	-1,7
Sinais - Média Específica	-1,2	-1,1	-4,4	-0,5	-0,8	-1,4	-1,2	-5,7	-0,6	-1,1	-6,3	-1,4	-0,8	-0,8	-2,0

Tabela 19 – Desempenho dos alunos não repetentes da Turma 2003/1 (Parte II)

	Média Geral	Média Específica	Sinais Reprov.	Sinais EVC	Delta Geral	Delta Específico
Alunos Inscritos	7,02	6,81	3,06	5,94	-1,08	-0,87
Alunos Não Inscritos	7,13	7,01	3,00	6,21	-0,92	-0,80
Alunos Inscritos (25%)	7,11	6,79	2,88	6,63	-0,48	-0,16
Alunos Não Inscritos (25%)	7,06	6,94	3,09	5,86	-1,20	-1,08

Tabela 20 – Síntese para os Alunos Repetentes

	M. Geral	M. Espec.	Sinais	D. Geral	D. Espec.
Alunos Inscritos	7,76	7,69	7,10	-0,66	-0,59
Alunos Não Inscritos	6,61	6,56	5,80	-0,81	-0,76
Alunos Inscritos (25%)	7,82	7,71	7,31	-0,51	-0,40
Alunos Não Inscritos (25%)	6,82	6,85	5,79	-1,04	-1,06

Obs.: Média da turma anterior (2001/1) = 5,86.

Tabela 21 – Síntese para os Alunos Não Repetentes da Turma 2001/2

	M. Geral	M. Espec.	Sinais	D. Geral	D. Espec.
Alunos Inscritos	7,80	7,73	6,89	-0,91	-0,84
Alunos Não Inscritos	7,69	7,63	6,63	-1,06	-1,00
Alunos Inscritos (25%)	7,87	7,78	7,19	-0,68	-0,59
Alunos Não Inscritos (25%)	7,64	7,60	6,29	-1,35	-1,31

Tabela 22 – Síntese para os Alunos Não Repetentes da Turma 2002/1

	M. Geral	M. Espec.	Sinais	D. Geral	D. Espec.
Alunos Inscritos	7,78	7,63	6,68	-1,10	-0,95
Alunos Não Inscritos	7,15	7,24	4,00	-3,15	-3,24
Alunos Inscritos (25%)	7,85	7,73	6,85	-1,00	-0,88
Alunos Não Inscritos (25%)	7,21	7,23	4,20	-3,01	-3,03

Tabela 23 – Síntese para os Alunos Não Repetentes da Turma 2002/2

	M. Geral	M. Espec.	Sinais	D. Geral	D. Espec.
Alunos Inscritos	7,96	7,97	6,72	-1,24	-1,24
Alunos Não Inscritos	7,84	7,72	6,17	-1,67	-1,56

Tabela 24 – Síntese para os Alunos Não Repetentes da Turma 2003/1

## ANEXO E – PROGRAMA AVANÇADO EM MATEMÁTICA

Disciplina	Alunos					
	1	2	3	4	5	6
Introdução à Eng. de C&A	8,5	8,5	9,0	9,0	8,0	8,0
Desenho Técnico I	9,5	10	8,5	9,0	9,0	9,5
Física I	10	9,5	8,5	9,5	8,5	9,5
Int. à Informática p/ Automação	9,5	10	8,5	9,5	7,0	8,5
H Cálculo I	9,0	9,5	8,5	7,5	7,5	8,0
Alg. Linear e Geometria Anal. I	7,5	10	7,0	9,5	8,5	9,0
Conserv. dos Recursos Naturais	8,5	9,0	8,5	8,5	8,0	9,5
Física Experimental I	7,5	9,5	8,0	9,5	9,0	9,0
Física Teórica A	8,5	9,0	9,5	8,5	7,5	8,0
Fund. da Estrutura da Informação	9,5	10	10	9,0	9,0	10
H Cálculo II	8,5	10	8,0	8,0	7,5	6,5
H Álgebra II	9,5	10	7,0	8,0	9,0	8,5
Sistemas Digitais	9,0	9,5	7,5	9,0	7,5	7,0
Fenômenos dos Transportes	10	10	8,5	8,5	7,5	7,5
Física Experimental II	9,0	9,5	9,5	9,5	8,0	8,5
Física Teórica B	9,5	9,5	7,5	9,0	8,0	10
Cálculo Num. para Eng. Elétrica	9,0	9,0	7,5	7,0	9,0	9,5
H Cálculo III	9,5	9,5	8,5	8,5	8,0	7,5
H Álgebra III	7,5	9,0	7,0	7,0	9,0	9,0
Circuitos Elétricos p/ C&A	6,5	7,5	6,5	7,5	6,5	6,5
Microprocessadores	9,0	8,0	7,0	9,0	7,5	7,5
Mecânica Geral	9,5	10	8,5	7,0	8,0	7,0
H Cálculo IV	9,5	10	9,0		9,5	8,0
H Análise Linear					9,5	7,5
Fund. Matemáticos p/ C&A	9,0	10	9,0	8,5		
Médias Gerais	8,9	9,4	8,2	8,5	8,2	8,3
Médias Específicas	8,8	9,7	7,9	8,0	8,6	8,2
Sinais e Sist. Lineares	7,0	8,5	6,0	7,0	7,0	7,5
Sinais - Média Geral	-1,9	-0,9	-2,2	-1,5	-1,2	-0,8
Sinais - Média Específica	-1,8	-1,3	-2,0	-1,1	-1,6	-0,5
Inscrição / Semestre	,03	,04	,61			

Tabela 25 – Alunos Participantes do PAM

	Currículo Geral		Curríc. Espec.		Sinais e Sist.		Delta	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Geral	Espec.
Participantes do PAM	8,59	0,45	8,53	0,59	7,17	0,75	-1,42	-1,36
Total	7,62	0,82	7,54	0,94	6,39	1,84	-1,22	-1,14

Tabela 26 – Resultados Quantitativos do PAM

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGOTTI, J. A. P.; 1991. **Fragmentos e Totalidades no Conhecimento Científico e no Ensino de Ciências**. *Tese* (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.
- ANTSAKLIS, P. J.; 2000. **At The Gates of The Millennium: Are We In Control?** *IEEE Control Systems*. V. 20, nº 1, fevereiro, 2000. pp. 50-55.
- ANTSAKLIS, P. J.; Basar, T.; De Carlo, R. et. al.; 1999. **Report on the NSF/CSS Workshop on New Directions in Control Engineering Education**. IN: Heck, 1999. pp. 53-58.
- ASHBY, W. R.; 1957. *An Introduction to Cybernetics*. Londres: Chapman & Hall Ltd.
- BACHELARD, G.; 1977 (1938). *La Formation de l'Esprit Scientifique*. Paris: J. Vrin.
- BALCHEN, J. G.; 1999. **How have we arrived at the present state of knowledge in process control? Is there a lesson to be learned?** *Journal of Process Control*. nº 9. pp. 101-108.
- BAZZO, W.; 1998. **Ensino de Engenharia: Novos Desafios Para a Formação Docente**. *Tese*. Programa de Ensino de Ciências Naturais. Florianópolis, UFSC.
- \_\_\_\_\_; 1999. **A Pertinência de Abordagens CTS na Educação Tecnológica**. In: Linsingen et. al.; 1999. pp. 89-104.
- BAZZO, W.; Pereira, L. T. do V.; 1996. *Introdução à Engenharia*. Florianópolis: UFSC.
- BAZZO, W.; Pereira, L. T. do V.; Linsingen, I. V.; 1999. *Educação Tecnológica: Enfoques para o Ensino de Engenharia*. Florianópolis: UFSC.
- BECKER, F.; 1998. **Aprendizagem e Ensino: Contribuições da Epistemologia Genética**. In: Linsingen et. al.; 1999. pp. 179-196.
- \_\_\_\_\_; 1999. *A Epistemologia do Professor*. Petrópolis: Vozes.
- BENIGER, J. R.; 1992. **Communication and the Control Revolution**. *Organization of American Historians: Magazine of History*. V. 6, nº 4.

- BEQUETTE, B. W.; Chow, J. H.; Li, C. J. et. al.; 1999. **An Interdisciplinary Control Education Studio**. *Proceedings*. 38<sup>th</sup> Conference on Decision & Control. Estados Unidos (Phoenix), dezembro. pp. 370-374.
- BERMUDEZ, J. C. M.; 1999. **A Educação Tecnológica Precisa de Uma Política**. In: Linsingen et. al.; 1999. pp. 67-76.
- BERNSTEIN, D. S.; 1997. **A Student's Guide to Classical Control**. *IEEE Control Systems*. V. 17, nº 4, agosto, 1997. pp. 96-100.
- \_\_\_\_\_; 1999. **Enhancing Undergraduate Control Education**. *IEEE Control Systems*. V. 19, nº 5, outubro, 1999. pp. 40-43. In: Heck (1999).
- \_\_\_\_\_; 2002. **Introducing Signals, Systems, and Control in K-12**. *Proceedings*. American Control Conference. Estados Unidos (Anchorage), maio.
- \_\_\_\_\_; 2003a. **Escapements, Governors, Ailerons, Gyros, and Amplifiers: Feedback Control and the History of Technology**. *IEEE Control Systems* (Apresentado). Disponível em: [www.engin.umich.edu/dept/aero/people/faculty/bernstein/index.html](http://www.engin.umich.edu/dept/aero/people/faculty/bernstein/index.html). Acesso em 18/02/2004.
- \_\_\_\_\_; 2003b. **What Makes Some Control Problems Hard**. *IEEE Control Systems* (Artigo CSM01-011R). Disponível em (Acesso em 18/02/2004): [www.engin.umich.edu/dept/aero/people/faculty/bernstein/index.html](http://www.engin.umich.edu/dept/aero/people/faculty/bernstein/index.html).
- BISHOP, R. H.; Dorf, R. C.; 1999. **Teaching Modern Control System Design**. *Proceedings*. 38<sup>th</sup> Conference on Decision and Control. Estados Unidos (Phoenix). pp. 364-369.
- BISSELL, C.; 1999a. **Control Engineering in the Former USSR**. *IEEE Control Systems*. V. 19, nº 1, fevereiro, 1999. pp. 111-117.
- \_\_\_\_\_; 1999b. **Control Education: Time for Radical Change?** In: Heck, 1999. p. 44-49.
- BISSELL, C.; Dillon, C.; 2000. **Telling Tales: Models, Stories and Meanings**. *For The Learning of Mathematics*, Vol. 20, nº 3. pp. 3-11.
- BLONDEL, V.; Gevers, M.; Lindquist, A.; 1995. **Survey on the State of Systems and Control**. *European Journal of Control*. V. 1, nº 1, setembro. pp. 5-23.
- BOHM, D.; 1980. *A Totalidade e a Ordem Implicada*. São Paulo: Cultrix.
- BOHUS, C.; Crawl, L. A.; Aktan, B.; Shor, M. H.; 1996. **Running Control Engineering Experiments Over the Internet**. *Proceedings*. 13<sup>th</sup> IFAC World Congress. Estados Unidos (San Francisco). pp. 25-33.
- BOL, E. W.; Santander, A. C. A.; Almeida, O. M.; Coelho, L. S.; Coelho, A. A. R.; 1999. **WinFACT — A Tool for Teaching Digital Control**. *Proceedings*. 38<sup>th</sup> Conference on Decision and Control. Estados Unidos (Phoenix). pp. 353-358.

- BOLZAN, A.; Carlson, R.; Giorgetti, M. F.; 1997. **Collaborative Approach for Reforming Engineering Education in Southern Brazil**. *Proceedings*. Best Assessment Processes in Engineering Education. Estados Unidos (Chicago), julho. pp. 310-314.
- BRAGA, W.; 2001. **A General Methodology For Engineering Education Using the Internet**. 31<sup>st</sup> ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference. Estados Unidos (Reno), outubro. pp. 1-5.
- BRANDT, D.; Imamichi, C.; McGregor, H. et. al.; 1996. **Integrating Technical and Non-Technical Issues in Control Education**. *Control Engineering Practice*. V. 4, nº 5. pp. 655-662.
- BRASIL; 1976. **Resolução Conselho Federal de Educação – CFE nº 48**, de 27 de abril de 1976. Fixa os Mínimos de Conteúdo e de Duração do Curso de Graduação em Engenharia e Define suas Áreas e Habilitações. *DOU*. 27 de abril de 1977.
- \_\_\_\_\_; 1994. **Portaria MEC nº 1.812**, de 27 de dezembro de 1994. Reconhece o Curso de Engenharia de Controle e Automação Industrial da UFSC. *DOU*. 28 de dezembro de 1994.
- \_\_\_\_\_; 1996. **Lei nº 9.394**, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as Diretrizes e Bases da Educação. *DOU*. 23 de dezembro de 1996.
- \_\_\_\_\_; 1997. **Decreto nº 2.204**, de 18 de abril de 1997. Regulamenta Capítulo Sobre Educação Profissional da LDB. *DOU*. 18 de abril de 1997.
- \_\_\_\_\_; 1998. **Portaria CAPES nº 80**, de 16 de dezembro de 1998. Dispõe sobre o reconhecimento dos mestrados profissionais e dá outras providências. *DOU*. 11 de janeiro de 1999.
- \_\_\_\_\_; 1999a. **Resolução CONFEA nº 427**, de 5 de março de 1999. Discrimina as Atividades Profissionais do Engenheiro de Controle e Automação. *DOU*. 7 de maio de 1999.
- \_\_\_\_\_; 1999b. **Parecer CNE nº 16**, de 5 de outubro de 1999. Trata das Diretrizes Curriculares Nacionais Para a Educação Profissional de Nível Técnico. *DOU*. 26 de novembro de 1999.
- \_\_\_\_\_; 1999c. **Resolução CES nº 1**, de 27 de janeiro de 1999. Dispõe Sobre os Cursos Seqüenciais de Educação Superior. *DOU*. 3 de fevereiro de 2000.
- \_\_\_\_\_; 2001. **Parecer CNE nº 436**, de 2 de abril de 2001. Cursos Superiores de Tecnologia – Formação de Tecnólogos. *DOU*. 6 de abril de 2001.

- \_\_\_\_\_; 2002. **Resolução CNE/CES nº 11**, de 11 de março de 2002. Institui Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. *DOU*. 9 de abril de 2002.
- \_\_\_\_\_; 2003a. Página Oficial do MEC. *A Nova Educação Profissional*. Disponível em: <http://www.mec.gov.br/semtec/educprof/intprof.shtm>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2004.
- \_\_\_\_\_; 2003b. Página Oficial do MEC. *Diretrizes Curriculares para os Cursos de Graduação*. Disponível em: <http://www.mec.gov.br/sesu/diretriz.shtm>. Acesso em 18/02/2004.
- \_\_\_\_\_; 2003c. Comissão de Sistematização de Mudanças Curriculares. *Proposta de Adaptação Curricular para o Curso de Engenharia de Controle e Automação da UFSC*. UFSC, DAS. 5 de maio de 2003.
- BRUCIAPAGLIA, A.; Farines, J.; 1990. **Formação de Recursos Humanos em Controle e Automação Industrial**. *Revista SBA: Controle & Automação*. V. 2, nº 4, setembro/outubro. pp. 205-213.
- BRYSON, A. E.; 1996. **Optimal Control – 1950 to 1985**. In: Bushnell, 1996. pp. 26-33.
- BUCKERIDGE, J. J. S.; 2000. **A Y2K Imperative: The Globalisation of Engineering Education**. *Global Journal of Engineering Education*. V. 4, nº 1, pp. 19-24.
- BUNGE, M.; 1980. *Epistemologia: Curso de Atualização*. São Paulo: USP.
- \_\_\_\_\_; 1983. *Treatise on Basic Philosophy*. Holanda (Dordrecht): Riedel.
- \_\_\_\_\_; 1983a. *Treatise on Basic Philosophy: Semantics I – Sense and Reference*. Holanda (Dordrecht): Riedel.
- \_\_\_\_\_; 1983b. *Treatise on Basic Philosophy: Ontology I – The Furniture of The World*. Holanda (Dordrecht): Riedel.
- \_\_\_\_\_; 1983c. *Treatise on Basic Philosophy: Ontology II – A World of Systems*. Holanda (Dordrecht): Riedel.
- \_\_\_\_\_; 1983d. *Treatise on Basic Philosophy: Epistemology & Methodology I – Exploring The World*. Holanda (Dordrecht): Riedel.
- \_\_\_\_\_; 1983e. *Treatise on Basic Philosophy: Epistemology & Methodology III – Philosophy of Science & Technology*. Holanda (Dordrecht): Riedel.
- \_\_\_\_\_; 1985. *Seudociencia e Ideologia*. Madrid: Alianza Universidad.
- \_\_\_\_\_; 1996. *Ética, Ciencia y Técnica*. Buenos Aires: Sudamericana.
- BUSHNELL, L. (editora); 1996. **Special Report: The Evolving History of Control**. *IEEE Control Systems*. V. 16, nº 3, junho. pp. 14-76.

- BUZIN, P. F. W. K.; 2000. *A Ciência da Computação*. IEEE Computer Society. pp. 1-32.
- CAPRA, F.; 1996. *A Teia da Vida: Uma Nova Compreensão Científica dos Sistemas Vivos*. São Paulo: Cultrix.
- CARNAP, R.; 1932. **The Elimination of Metaphysics through Logical Analysis of Language**. In: AYER, A. J.; 1959. *Logical Positivism*, Nova Iorque: The Free Press. pp. 60-81.
- CHAIMOVICH, H.; 2000. **Brasil, Ciência e Tecnologia: Alguns Dilemas e Desafios**. *Estudos Avançados – Dossiê Brasil III*. USP, Instituto de Estudos Avançados – IEA. V. 14, nº 40, setembro/dezembro, pp. 134-143. Disponível em: <http://www.usp.br/iea>.
- CHISHOLM, C. U.; 2003. **Critical Factors Relating to the Future Sustainability of Engineering Education**. *Global Journal of Engineering Education*. V. 7, nº 1, pp. 29-38.
- COPINGA, G. J. C.; Verhaegen, M. H. G.; Van de Ven, M. J. J. M.; 2000. **Toward a Web-based Study**. *IEEE Control Systems*. V. 19, nº 5. pp. 38-39.
- CORRADINI, M. L.; Ippoliti, G.; Leo, T. ; Longhi, S.; 2001. **An Internet Based Laboratory for Control Education**. *Proceedings*. 40<sup>th</sup> IEE Conference on Decision and Control. Estados Unidos (Orlando). pp. 2833-2838.
- COURY, B. G; 1996. *Water Level Control for the Toilet Tank: A Historical Perspective*. In: Levine, 1996. pp. 1179-1190.
- DEMO, P.; 1999. **Profissional do Futuro**. In: Linsingen et. al.; 1999. pp. 29-50.
- DJAFERIS, T. E.; 1999. **Automatic Control: A Theme For First-Year Engineering Study**. *Proceedings*. 38<sup>th</sup> Conference on Decision and Control. Estados Unidos (Phoenix). pp. 1266-1271.
- DILLENBOURG, P.; Baker, M.; Blaye, A.; O'Malley, C.; 1996. **The Evolution or Research on Collaborative Learning**. *Learning in Humans and Machine: Towards an Interdisciplinary Learning Science*. Oxford: Elsevier. pp. 189-211.
- DORATO, P.; 1999. **Undergraduate Control Education in the U.S.**. In: Heck, 1999. pp. 38-39.
- ERTAS, A.; Tanik, M. M.; Maxwell, T. T.; 2000. **Transdisciplinary Engineering Education and Research Model**. *Transactions of the Society for Design and Process Science*. V. 4, nº 4, dezembro. pp. 1-11.
- FERREIRA, R. S.; 1999. **Tendências Curriculares na Formação do Engenheiro do Ano 2000**. In: Linsingen et. al.; 1999. pp. 129-142.

- FOGLER, H. S.; 1997. *Teaching Critical Thinking, Creative Thinking, and Problem Solving in the Digital Age*. Universidade de Michigan, Depto. de Engenharia Química.
- FREIRE, P.; 1997. *Educação e Mudança*. São Paulo: Paz & Terra.
- GALLIANO, G.; 1977. *O Método Científico: Teoria e Prática*. São Paulo: Harper & Row do Brasil.
- GIANNOTTI, A.; 1986. *A Universidade em Ritmo de Barbárie*. Brasília: Brasiliense.
- GODOY, A. S.; 1988. *Didática para o Ensino Superior*. São Paulo: Iglu.
- HABERMAS, J.; 1987. *Conhecimento e Interesse*. Rio de Janeiro: Guanabara.
- HACKING, I.; 1983. *Representing and Intervening*. Cambridge University Press.
- HECK, B. S. (editora); 1999. **Special Report: Future Directions in Control Education**. *IEEE Control Systems*. V. 19, nº 5, outubro. pp. 35-58.
- HENDERSON, P. B.; 2002. *Mathematical Reasoning in Software Engineering Education*. Butler University.
- HEYLIGHEN, F.; Joslyn, C; 2001. **Cybernetics and Second Order Cybernetics**. In: MEYERS, R. A. (ed.). *Encyclopedia of Physical Science & Technology*. V. 4. Nova Iorque: Academic Press. pp. 155-170.
- HORÁCEK, P.; 2000. **Laboratory Experiments for Control Theory Courses: A Survey**. *Annual Reviews in Control*. V. 24. pp. 151-162.
- JOHANSSON, M.; Gälfert, M.; Åström, K. J.; 1998. **Interactive Tools for Education in Automatic Control**. *IEEE Control Systems*. V. 18, nº 3. pp. 33-40.
- JOHNSON, M. A.; Grimble, M. J.; 1996. **Control for Competitive and Economic Industrial Process Operations**. *Proceedings*. 35<sup>th</sup> Conference on Decision and Control. Japão (Kobe). pp. 4508-4509.
- KAILATH, T.; Schaper, C.; Cho, Y. et. al.; 1996. **Control for Advanced Semiconductor Device Manufacturing: A Case History**. IN: Levine, 1996. pp. 1243-1259.
- KHEIR, N. A.; Aström, K. J.; Auslander, D. et al.; 1996. **Control Systems Engineering Education**. *Automatica*. V. 32, nº 2. pp. 147-166.
- KOTAIT, I.; 1981. *Editoração Científica*. São Paulo: Ática.
- KUHN, T. S.; 1976 (1962). *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo: Perspectiva.
- LACEY, H.; 1997. **Ciência e Valores**. *Manuscrito*. Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência – Unicamp. V. 20, nº 1. pp. 9-36.
- LEÃO, M. L.; 2001. **O Ensino de Engenharia e a Conjuntura Brasileira**. *Anais DTC*. XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. pp. 59-64.

- LEITÃO, M. A. S.; 2001. **A Transição de Paradigmas no Ensino de Engenharia.** *Anais MTE.* XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. pp. 378-382.
- LEVINE, W. (editor); 1996. **The Control Handbook.** Flórida: CRC & IEEE Press.
- LHOTE, F.; Chazelet, Ph.; Dulmet, M.; 1999. **The Extension of Principles of Cybernetics Towards Engineering and Manufacturing.** *Annual Reviews in Control.* V. 23. pp. 139-148.
- LIMA FILHO, D. L.; 1999. **Formação de Tecnólogos: Lições de Experiência, Tendências Atuais e Perspectivas.** *Boletim Técnico do SENAC.* V. 5, nº 3, setembro/dezembro. Disponível em: [www.senac.br/boletim](http://www.senac.br/boletim). Acesso em: 18 de fevereiro de 2004.
- LINSINGEN, I.; Pereira, L.; Cabral, C.; Bazzo, W. (organizadores); 1999. **Formação do Engenheiro.** Florianópolis: UFSC.
- LUCKY, R. W., 1998. **Electrical Engineering – A Diminishing Role?** *IEEE Spectrum.* V. 35, nº 5, maio. p. 21
- \_\_\_\_\_; 2002. **The Future of Engineering.** *IEEE Spectrum.* V. 38, nº 9, setembro. p. 86
- \_\_\_\_\_; 2003. **Down Into Darkness Or Up Into Fog.** *IEEE Spectrum.* V. 39, nº 3, março.
- LUNT, B. M.; Helps, R. G.; Carter, P.; Red, E.; 2000. **Systems and Automation Education through Web-Based Labs.** *Proceedings.* Conference on Engineering Control. Taiwan: Taipei. 14-16 agosto.
- MARTINS FILHO, P. D.; 1997. **Introduzindo Novas Tecnologias Educacionais na Formação do Engenheiro.** *Anais.* XXV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Salvador. pp. 1913-1924.
- MASTEN, M. K.; 1995. **A Strategy For Industry's Continuing Education.** *Control Engineering Practice.* V. 3, nº 5, maio. pp. 717-721.
- MATURANA, H. R.; VARELA, F. J.; 1980. **Autopoiesis and Cognition – The Realization of the Living.** *Boston Studies in the Philosophy of Science,* V. 42. Holanda, Dordrecht: Reidel.
- MELGAREJO, L. F. B.; Marchini, M. Q.; Ballista, A. L. C.; 1991. **hiperNet: Um Ambiente de Cooperação em Rede Local.** *Anais.* IX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Florianópolis, maio. pp. 478-492.
- MIKULECKY, D. C.; 2001. **The Emergence of Complexity: Science Coming of Age or Science Growing Old?** *Computers and Chemistry.* V. 25. pp. 341-348.
- MIROTZNIK, M. S.; 1996. **Tools for Schools.** *IEEE Spectrum.* V. 33, nº 9. pp. 41-46.
- MORAES, R. C. C. (org.); 1998. **Universidade Hoje, Ensino, Pesquisa, Extensão.** *Educação & Sociedade.* V. 19, nº 63, agosto.

- MURRAY, R. M.; Åström, K. J.; Boyd, S. P.; Brockett, R. W.; Stein, G.; 2003. **Future Directions in Control in an Information-Rich World**. *IEEE Control Systems* (Apresentado). Disponível em: <http://www.stanford.edu/~boyd/reports/cdspanel-csm.pdf>. Acesso em 18/02/2004.
- OTACÍLIO, A.; Rodrigues, A.; Scheffer, C.; Vargas, F.; Coelho, A.; 1999. **Avaliação Experimental da Hibridização de Estratégias de Controle Nebulosa e Preditiva em um Processo Não Linear de Luminosidade**. *Anais. IV Congresso Brasileiro de Redes Neurais*. São José dos Campos, julho. pp. 136-141.
- OWSTON, R.; 1997. **The World Wide Web: A Technology to Enhance Teaching and Learning?** *Educational Researcher*. V. 26, nº 2, março. pp 27-33.
- PAPERT, S.; 1985. **LOGO: Computadores e Educação**. São Paulo: Brasiliense.
- PEGOLLO, C. A. G.; Shiga, A. A.; 2001. **Utilizando o Trabalho de Conclusão de Curso para Aperfeiçoar a Performance Profissional dos Novos Engenheiros**. *Anais NTM. XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*. pp. 394-399.
- PENA, R. T.; Jota, F. G.; 2001. **A New Undergraduate Degree in Control Engineering**. *IEEE Transactions on Education*. V. 44, nº 4, novembro. pp. 399-405.
- PEREIRA, L. T. do V.; 1998. **Sobre Algumas Dificuldades para a Aprendizagem em Engenharia**. *Anais. XXVI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*. São Paulo, outubro. pp. 279-293.
- PEREIRA, L. F. A.; Lima, J. C. M.; 1998. **Reestruturação do Ensino de Automação e Controle Através da Implantação de Laboratórios**. *Anais. XII Congresso Brasileiro de Automática – XII CBA*. Uberlândia, setembro. pp. 637-642.
- PEREIRA, L. T. do V.; Bazzo, W. A.; Linsingen, I.; 1998. **Em Busca de uma Nova Formação**. *Anais. XXVI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*. São Paulo, outubro. pp. 501-513.
- PEREIRA FILHO, O.; 2001. **A Importância da Epistemologia no Ensino de Engenharia**. *Anais CBE. XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*. pp. 20-25.
- PETRI, C. A.; 1963. **Fundamentals of a Theory of Asynchronous Information Flow**. *Proceedings. IFIP Congress 62*. Amsterdam: North Holland Publishing Company. pp. 386-390.
- PIAGET, J.; 1990. **Epistemologia Genética**. São Paulo: Martins Fontes. FROM: PIAGET, J.; Introduction à l'Épistémologie Génétique; Paris: Presses Universitaires de France, 1950.
- PRINCIPIA CYBERNETICA WEB. <http://pespmc1.vub.ac.be>. Acesso em: 18/02/2004.

- POINDEXTER, S. E.; Heck, B.; 1999. **Using the Web in Your Courses: What Can You Do? What Should You Do?** *IEEE Control Systems*. V. 11, nº 1. pp. 83-92.
- POLONSKII, M.; 2001. **Curso Sequencial de Formação Específica em Mecatrônica**. *Anais CSQ*. XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. pp. 6-10.
- ROCHA, R. G. da; LONGO, O. C.; 1998. **A Qualidade no Ensino de Engenharia na Visão de Alunos e Professores**. *Anais*. XXVI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. São Paulo, outubro. pp. 355-365.
- RODRIGUES, A. C. G.; 2000a. **Reflexões Sobre o Ensino de Controle na Graduação no Brasil**. *Anais*. XIII Congresso Brasileiro de Automática – CBA 2000. Florianópolis, 11-14 setembro. pp. 1467-1472.
- \_\_\_\_\_; 2000b. **Educação e Ciência da Informação na Formação do Engenheiro de Controle e Automação**. *Exame de Qualificação*. Florianópolis, dezembro. p. 164.
- \_\_\_\_\_; 2001. **Em Busca da Epistemologia do Controle Automático**. UFSC, DAS. pp. 1-13.
- \_\_\_\_\_; 2002. **A Automática e a Reforma na Formação Profissional**. *Anais*. XVI Congresso Brasileiro de Automática. Natal, 2-5 setembro. pp. 1409-1414.
- RODRIGUES, A.; Bruciapaglia, A.; Rico, J.; Melgarejo, L. F.; 2002a. **A “Concepts-on” Project on Undergraduate Control Education**. *Proceedings*. IFAC’2002 World Congress. Barcelona.
- \_\_\_\_\_; 2002b. **Escola Virtual de Controle: Aprimorando o Ensino de Graduação**. *Anais do XVI Congresso Brasileiro de Automática*. Natal, 2-5 setembro. pp. 1415-1420.
- RODRIGUES, A. C. G.; Bruciapaglia, A.; Coelho, L.; 2003. **Control Engineering: Thinking Before Teaching It**. *Preprints*. IFAC ACE’2003 – *Advances on Control Education Symposium*. Finlândia, Oulu, 14-16 junho. pp. 125-130.
- ROSE, J.; 1994. **The Early Years: Some Comments on the Origins and Concepts of Cybernetics**. *Kybernetes*, V. 23, nº 6/7. pp. 23-27.
- SALUM, M.; 1999. **Os Currículos de Engenharia no Brasil – Estágio Atual e Tendências**. In: Linsingen et. al.; 1999. pp. 107-118.
- SAMAD, T.; 1996. **Intelligent Control in the Process Industries: Considerations for Future Research**. *Proceedings*. 35<sup>th</sup> Conference on Decision and Control. Japão (Kobe). pp. 4512-4513.
- SCHAUFELBERGER, W.; 1995. **Engineering Education for Innovation, a Control Engineer’s Perspective**. *Proceedings of SEFI Annual Conference*. França: Compiègne. pp. 39-52. Disponível em: [www.aut.ee.ethz.ch/edu/Publications/SEFI95.pdf](http://www.aut.ee.ethz.ch/edu/Publications/SEFI95.pdf). Acesso em: 18/02/2004

- SEISING, R.; Schuh, C.; Adlassnig, K., 2003; **Workshop on Intelligent and Adaptive Systems in Medicine**. República Tcheca: Praga. 31 março a 1 de abril, 2003. In: <http://cyber.felk.cvut.cz/EUNITE03-BIO/pdf/Seising.pdf>. Acesso em: 18/02/2004.
- SILVA, D.; 1999. **O Engenheiro que as Empresas Querem Hoje**. In: Linsingen et. al.; 1999. pp. 77-88.
- SILVEIRA, M. A.; Silva, C. T. C.; Neto, M. S.; 1998. **A Engenharia de Controle e Automação na PUC-Rio: Uma Habilitação Multidisciplinar**. *Anais. XII Congresso Brasileiro de Automática – XII CBA*. Uberlândia, 14-18 setembro. pp. 619-624.
- SILVEIRA, M. A.; Carmo, L. C. S.; 1999. **Sequential and Concurrent Teaching: Structuring Hands-on Methodology**. *IEEE Transactions on Education*. V. 42, nº 2. pp. 103-108.
- SOUZA, M. F. de; 1999. **Engenharia Ontem e Hoje**. In: LINSINGEN, Irlan von et. al. *Formação do Engenheiro*. Florianópolis: UFSC, pp. 119-127.
- STRAŠKRABA, M.; 2001. **Natural Control Mechanisms in Models of Aquatic Ecosystems**. *Ecological Modeling*. V. 140. pp. 195-205.
- THIELE, L.; 2003. **Discrete Event Systems: Introduction**. In: [http://www.tik.ee.ethz.ch/tik/education/lectures/DES/WS02\\_03/Book/des\\_book\\_intro.pdf](http://www.tik.ee.ethz.ch/tik/education/lectures/DES/WS02_03/Book/des_book_intro.pdf). Acesso em: 18/02/2004.
- VALLIM, M. B. R.; 2000. **Em Direção à Melhoria do Ensino na Área Tecnológica: a Experiência de uma Disciplina de Introdução à Engenharia de Controle e Automação**. *Dissertação* (Mestrado em Engenharia Elétrica) – CTC, UFSC.
- VEIGA NETO, A.; 1996. **Currículos e Conflitos**. In: MORAES, V. R. P.. *Melhoria do Ensino e Capacitação Docente*. Porto Alegre: UFRGS, pp. 23-27.
- VYGOTSKY, L. S.; 1999. **A Formação Social da Mente**. São Paulo: Martins Fontes.
- WITTENMARK, B.; Haglund, H.; Johansson, M.; 1998. **Dynamic Pictures and Interactive Learning**. *IEEE Control Systems*. V. 18, nº 3. pp. 26-32.
- WRIGHT, A. B.; 2002. **Planting the Seeds for a Mechatronic Curriculum at UALR**. *Mechatronics*. V. 12. pp. 271-280.
- ZILOUCHIAN, A.; 1992. **Development of a Real-Time Digital Computer Control Laboratory**. *Proceedings*. American Control Conference. Estados Unidos (Chicago). pp. 473-474.
- ZYLBERSZTAJN, A.; 1991. **Revoluções Científicas e Ciência Normal em Sala de Aula**. In: MOREIRA, Marco Antonio; Axt, Rolando; 1991. *Tópicos em Ensino de Ciências*. Porto Alegre: Sagra. pp. 47-61.