

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

Adelson Siqueira Carvalho

**MECATAS – UM MODELO PARA O ENSINO-APRENDIZAGEM DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO BASEADO NA TEORIA DA APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA**

Porto Alegre
2011

Adelson Siqueira Carvalho

**MECATAS – UM MODELO PARA O ENSINO-APRENDIZAGEM DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO BASEADO NA TEORIA DA APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação do Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutor em Informática na Educação.

Orientador: Dr. Dante Augusto Couto Barone

Coorientador: Dr. Milton Antônio Zaro

Linha de Pesquisa: Paradigmas para a Pesquisa sobre o Ensino Científico e Tecnológico

Porto Alegre

2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitor de Pós-Graduação: Prof. Aldo Bolten Lucion

Diretora do CINTED: Profa. Liane Margarida Rockenbach Tarouco

Coordenadora do PPGIE: Profa. Maria Cristina Villanova Biazus

CIP - Catalogação na Publicação

Siqueira Carvalho, Adelson

MECATAS - UM MODELO PARA O ENSINO-APRENDIZAGEM DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO BASEADO NA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA / Adelson Siqueira Carvalho. -- 2011.

146 f.

Orientador: Dante Barone.

Coorientador: Milton Zaro.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Estudos Interdisciplinares em Novas Tecnologias na Educação, Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, Porto Alegre, BR-RS, 2011.

1. Ensino de Engenharia. I. Barone, Dante , orient. II. Zaro, Milton, coorient. III. Título.

Adelson Siqueira Carvalho

**MECATAS – UM MODELO PARA O ENSINO-APRENDIZAGEM DE
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO BASEADO NA TEORIA DA
APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação do Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutor em Informática na Educação.

Aprovada em 22 dez. 2011.

Prof. Dr. Dante Augusto Couto Barone – Orientador

Prof. Dr. Milton Antônio Zaro – Coorientador

Prof. Dr. José Valdeni de Lima – UFRGS/PPGIE

Prof. Dr. Eliane Ângela Veit – UFRGS/IF

Prof. Dr. Walter Antônio Bazzo – UFSC/PPGECT

Agradecimentos

Agradeço aos meus familiares, e em especial minha esposa Aline Gomes Cordeiro e meu filho Murilo Cordeiro Carvalho pela paciência e compreensão nos momentos em que não pude estar presente.

Agradeço aos meus amigos e colegas de doutorado que estiveram sempre junto nos momentos de dúvida e de cooperação durante, principalmente, a realização dos créditos.

Agradeço a UFRGS e ao PPGIE pela oportunidade de ingressar e concluir o doutoramento em Informática na Educação, permitindo desta forma que eu me tornasse um professor e homem melhor.

Agradeço ao IFFluminense pela oportunidade de ingressar em um doutorado interinstitucional em Informática na Educação junto à UFRGS, com todo o apoio necessário para a conclusão do curso.

Agradeço a CAPES pelo fomento à capacitação e a pesquisa na forma deste convênio interinstitucional e pelos recursos a ele destinados.

Agradeço ao Curso de Engenharia de Controle e Automação do IFFluminense, campus campos-centro pela permissão para a aplicação da pesquisa com os alunos do curso.

Agradeço ao meu orientador Dante Barone por ter me ajudado muito nesta caminhada, e também ao professor Milton Zaro, meu coorientador.

Agradeço aos professores do curso pelo conhecimento construído.

*Dedico esta tese à Ciência,
que é toda a fé
que um pesquisador
precisa*

Resumo

Esta tese apresenta uma proposta, estruturada na forma de modelo pedagógico – MECATAS – Modelo para o processo de Ensino-aprendizagem de engenharia de Controle e Automação baseado na Teoria da Aprendizagem Significativa. Segundo representantes da Confederação Nacional das Indústrias (CNI), uma das possíveis causas da evasão nos cursos de engenharia é a distância entre os currículos dos cursos e a solução de problemas concretos imposta pela realidade do mercado. Para diminuir essa distância, o modelo proposto neste trabalho utiliza: (i) teorias cognitivas da aprendizagem, para fornecer as bases da construção do modelo pedagógico proposto e para análise dos resultados; (ii) uma plataforma tecnológica, para auxiliar os estudantes no desenvolvimento de atividades inerentes à experimentação da prática profissional; (iii) mecanismos de desenvolvimento da aprendizagem e de avaliação. A pesquisa desenvolvida tem como objetivo responder à seguinte questão: “Como as plataformas tecnológicas podem ajudar a desenvolver a aprendizagem significativa de alunos de engenharia de controle e automação?”. O aporte teórico do modelo e da pesquisa constitui-se de: a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel e dos mapas conceituais de Novak. A plataforma tecnológica proposta é utilizada para auxiliar o aluno na concepção, projeto, simulação e teste de sistemas de controle. Essa plataforma integra o software de simulação matemática MATLAB® a uma coluna de destilação piloto, permitindo a realização de testes dos sistemas de controle desenvolvidos diretamente no protótipo, simulando uma experiência profissional. Para validação do modelo pedagógico proposto, uma investigação foi delineada na forma de experimento didático-pedagógico para alunos da disciplina de controle avançado de três semestres letivos em um curso de engenharia de controle e automação no Instituto Federal Fluminense. Os resultados obtidos a partir dos instrumentos de pesquisa são analisados sob a luz das teorias envolvidas.

Palavras-chave: teoria da aprendizagem significativa, engenharia de controle e automação, mapas conceituais, modelo pedagógico.

Abstract

This thesis presents a proposal structured as a pedagogical model called MECATAS – a model for improvement of teaching-learning process in the control engineering education. According to members of the National Confederation of Industries of Brazil, one of the possible motives of evasion in engineering degrees is the split between the curriculum of schools and the solution of practical problems imposed by the enterprise reality. To reduce this distance, the model proposed in this thesis has the following elements: 1 - cognitive theories of learning, to provide the basis for model construction and analysis of results; 2 - proposed technological platform, to assist students in developing activities related to experimentation of professional practice; 3 - tools for the development of learning and assessment mechanism. The research developed has as goal to answer the following question: "How the technological platforms, can help develop meaningful learning of students in control engineering?". The theoretical basis for the model is the meaningful learning theory of Ausubel and concept maps of Novak. The proposed technological platform is used to aid the student in the conception, design, simulation and testing of control systems. This platform integrates the mathematical simulation software MATLAB® to a prototype of a distillation column, allowing the testing of control systems developed directly on a real system. To validate the proposed pedagogical model, an investigation was outlined as a didactic and pedagogical experiment for students of advanced control of three periods in a course in control engineering at the Instituto Federal Fluminense. The results from the research instruments applied are reviewed under the light of the theories involved.

Keywords: meaningful learning, control engineering, concept maps, pedagogical model.

Lista de siglas

ABET	Accreditation Board for Engineering and Technology
CDIO	Conception, Design, Implementation and Operation. (Modelo pedagógico)
Cmap Tools	Software para construção de mapas conceituais
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
EaD	Educação à Distância
I.A.	Inteligência Artificial
IFF	Instituto Federal Fluminense
IHMC	Institute for Human and Machine Cognition
LEGO®	Fabricante de brinquedos
MATLAB/SIMULINK®	Software de simulação de sistemas dinâmicos parte integrante do MATLAB®
MATLAB®	Software de simulação matemática
MC	Mapas Conceituais
MECATAS	Modelo para o ensino aprendizagem de engenharia de controle e automação
Moodle	Ambiente virtual de aprendizagem
OPC	OLE for Process Control
PBL	Project-Based Learning
PC	Personal Computer
PID	Controlador de processos (Proporcional, Integral e Derivativo)
RNA's	Redes Neurais Artificiais
SERVQUAL	Questionário para verificação da qualidade de serviços
SMAR®	Fabricante de instrumentos industriais
SYSCON®	Software de configuração de instrumentos industriais
SYSTEM302®	Pacote de softwares do fabricante SMAR®
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
<i>toolbox</i>	Conjunto de funções específicas do MATLAB®
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNESP	Universidade Estadual Paulista
VRML	Virtual Reality Modelling Language

Lista de figuras

Figura 1. Protótipo de uma coluna de destilação de etanol.	20
Figura 2. Estrutura de informação do modelo de integração proposto. (Adaptado de Tham e Jones, 2002).	32
Figura 3. Representação gráfica do processo de assimilação obliteradora.	43
Figura 4. Mapa conceitual da teoria da aprendizagem significativa.	45
Figura 5. Mapa conceitual sobre a organização da pesquisa.	55
Figura 6. Mapa conceitual da teoria da aprendizagem significativa.	56
Figura 7. Modelo conceitual do modelo pedagógico proposto.	67
Figura 8. Modelo instrucional para ativação da aprendizagem. (Gambier 2008).	77
Figura 9. Coluna de destilação piloto.	79
Figura 10. Esquema de integração de sistemas.	80
Figura 11. Sistema de controle com comunicação OPC.	81
Figura 12. Modelo Conceitual do experimento didático-pedagógico concebido.	90
Figura 13. Gráfico com os resultados do instrumento SERVQUAL para a turma de 2010-1.	93
Figura 14. Porcentagem geral das respostas dos alunos.	94
Figura 15. Porcentagem dos tipos de respostas para a 1ª pergunta.	95
Figura 16. Porcentagem dos tipos de respostas para a 2ª pergunta.	95
Figura 17. Porcentagem dos tipos de respostas para a 3ª pergunta.	95
Figura 18. Porcentagem dos tipos de respostas para a 4ª pergunta.	96
Figura 19. Porcentagem dos tipos de respostas para a 5ª pergunta.	96
Figura 20. Porcentagem dos tipos de respostas para a 6ª pergunta.	96
Figura 21. Porcentagem dos tipos de respostas para a 7ª pergunta.	97
Figura 22. Porcentagem dos tipos de respostas para a 8ª pergunta.	97
Figura 23. Porcentagem dos tipos de respostas para a 9ª pergunta.	97
Figura 24. Porcentagem dos tipos de respostas para a 10ª pergunta.	98
Figura 25. Mapa conceitual para análise dos primeiros elementos do quadro 2.	102
Figura 26. Mapa conceitual para análise dos demais elementos.	103
Figura 27. Porcentagem dos tipos de mapas para a turma 2010-1.	104
Figura 28. Porcentagem dos tipos de mapas (1º mapa solicitado).	105

Figura 29. Porcentagem dos tipos de mapas (2º mapa solicitado).....	105
Figura 30. Porcentagem dos tipos de mapas (3º mapa solicitado).....	105
Figura 31. Porcentagem dos tipos de mapas (4º mapa solicitado).....	106
Figura 32. Porcentagem dos tipos de mapas (geral) para a turma 2010-2.	106
Figura 33. Porcentagem dos tipos de mapas (1º mapa solicitado).....	106
Figura 34. Porcentagem dos tipos de mapas (2º mapa solicitado).....	107
Figura 35. Porcentagem dos tipos de mapas (3º mapa solicitado).....	107
Figura 36. Porcentagem dos tipos de mapas (geral) para a turma 2011-1.	107
Figura 37. Porcentagem dos tipos de mapas (1º mapa solicitado).....	108
Figura 38. Porcentagem dos tipos de mapas (2º mapa solicitado).....	108
Figura 39. Porcentagem dos tipos de mapas (3º mapa solicitado).....	108
Figura 40. Perfil de subsunçores do aluno da turma de 2010-1.	109
Figura 41. Evolução dos mapas conceituais do aluno da turma de 2010-1.	114
Figura 42. Perfil de subsunçores do aluno da turma de 2010-2.	114
Figura 43. Evolução dos mapas conceituais do aluno da turma de 2010-2.	117
Figura 44. Perfil de subsunçores do aluno da turma de 2011-1.	118
Figura 45. Evolução dos mapas conceituais do aluno da turma de 2011-1.	120

Sumário

Resumo.....	2
Abstract	5
Lista de siglas	6
Lista de figuras	7
1. Introdução.....	14
1.1 Apresentação.....	14
1.2 Questões de pesquisa.....	22
1.3 Objetivos.....	22
1.4 Metodologia	23
1.5 Estrutura do trabalho	23
2. Modelos pedagógicos e discussões sobre ensino de engenharia	25
2.1 A Mudança de paradigmas no ensino de engenharia	25
3. Fundamentação teórica.....	40
3.1 Teoria da aprendizagem significativa.....	41
3.2 Mapas conceituais	54
3.3 Avaliação Mediadora	60
4. MECATAS	64
4.1. A plataforma tecnológica proposta	70
4.1.1 A coluna de destilação.....	78
4.1.2 Integração de softwares de comunicação	79
4.1.3 O software de projeto e simulação	80
5. O experimento didático pedagógico.....	82
5.1 Questionário de levantamento de subsunçores	84
5.2. Questionário SERVQUAL adaptado.....	85
5.3. Mapas conceituais	86
5.4 Pesquisa-texto	87
5.5. Solução de problemas.....	89
6. Resultados.....	91
6.1 Análise dos resultados obtidos pelo instrumento SERVQUAL	93
6.2. Análise gráfica das respostas do questionário de levantamento de subsunçores.....	94

6.3 Análise dos resultados obtidos pelo instrumento: mapas conceituais	98
6.4 Resultados do estudo de caso.....	109
6.4.1. Caso 1: Aluno da turma de 2010-1	109
6.4.2. Caso 2: Aluno da turma de 2010-2.....	114
6.4.3. Caso 3: Aluno da turma de 2011-1	117
7. Conclusões.....	122
Referências	125
ANEXO I.....	125
ANEXO II	137
ANEXO III	139
ANEXO IV	140
ANEXO V	143
ANEXO VI.....	144

1. Introdução

Visando a apresentar o tema/problema de pesquisa tratado nesta tese, a seção 1.1 compila informações pertinentes ao contexto do trabalho, público alvo, premissas e dados relevantes para compreensão do campo de domínio das engenharias, especialmente a engenharia de controle e automação. Algumas asserções sobre o modelo pedagógico proposto são também apresentadas.

1.1 Apresentação

O ensino de engenharia no Brasil, em sua grande maioria, segue um modelo instrucionista e comportamentalista explorando, de forma predominante, listas infundáveis de exercícios sem contextualização, a memorização e a reprodução de técnicas em conjunto com aulas puramente expositivas como prática docente.

A ênfase no ensino de técnicas no lugar de conceitos resulta em um rápido esquecimento por parte dos alunos. O ensino da teoria desvinculado dos aspectos práticos não prepara adequadamente o aluno para o exercício da profissão. (RIBAS *et al.* 1998 citado por VALLIM *et al.* 2000).

Diante dessa realidade da sala de aula e da percepção do esgotamento de tal modelo e a inadequação do profissional formado ao mercado de trabalho, surgem iniciativas para tentar aproximar um pouco mais o ensino de engenharia de um modelo de ensino mais participativo, no qual o aluno tenha uma grande parcela de contribuição no seu próprio processo de aprendizagem.

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos no sentido de fazer com que o ensino de engenharia se torne mais envolvente e construído a partir da interação do aluno com o seu objeto de estudo, dentre eles podem-se destacar os trabalhos de Figueiredo *et al.* (2001), Schnaid *et al.* (2003), Timm (2005) e Silva e Cecílio (2007).

De acordo com informação divulgada no site do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), a evasão nos cursos de engenharia é superior a 50%. Segundo o economista Marcos Formiga, então assessor da diretoria da Confederação Nacional da

Indústria (CNI), a maior parte das desistências ocorre nos dois primeiros anos da graduação. Uma das possíveis causas do problema, segundo ele, é a distância entre os currículos dos cursos e a solução de problemas concretos imposta pela realidade do mercado de trabalho.

O curso superior de engenharia em controle e automação é um curso relativamente novo no Brasil, se comparado às demais engenharias como a mecânica, civil e elétrica, tendo sido o primeiro curso fundado na Universidade Federal de Santa Catarina em 1988.

Conforme estabelecido no art. 1º da Portaria 1.694/94 – MEC, a Engenharia de Controle e Automação é uma habilitação específica, que teve origem nas áreas elétricas e mecânicas do Curso de Engenharia, fundamentado nos conteúdos dos conjuntos específicos de matérias de formação profissional geral, constante também na referida Portaria.

Historicamente, a área de controle e automação sempre foi vista como uma especialização dentro da engenharia mecânica ou da engenharia elétrica. Existe nele também a predominância do modelo instrucional comportamentalista baseado em aulas expositivas, exercícios e memorização de técnicas dispensando, desta forma, a construção de conceitos e sistemas de conceitos.

A formação de um profissional com capacidade de tratar os aspectos relativos ao controle e automação de processos tornou-se necessária à medida que os sistemas produtivos aumentaram e se modernizaram. A busca pela melhoria contínua das operações produtivas permitiu que surgisse espaço destinado aos engenheiros de produção e engenheiros de controle e automação.

Dentro do currículo tradicional de um engenheiro de controle e automação, as disciplinas do ciclo básico são tipicamente as disciplinas do ciclo básico de qualquer outro curso de engenharia: cálculo, álgebra, física, estatística, introdução à engenharia, dentre outras, vide ANEXO I. No ciclo profissionalizante ou intermediário, há uma predominância das disciplinas de fundamentação eletroeletrônica, assim como mecânica geral, termodinâmica, fenômenos de transporte, etc. A diferenciação do engenheiro de controle e automação com relação aos demais engenheiros fica a cargo do núcleo específico, com disciplinas tecnológicas: controladores lógicos programáveis, sistemas de supervisão, equipamentos e processos industriais, instrumentação industrial, redes industriais, etc.

Além das disciplinas do núcleo específico, há disciplinas que cuidam da engenharia de controle propriamente dita: fundamentos matemáticos para controle, controle clássico, controle moderno, controle digital, **controle avançado**, laboratório de controle, etc.

A disciplina de controle avançado tem a função de apresentar ao aluno conteúdos não contemplados pelas outras disciplinas, como o controle baseado em Inteligência Artificial (I.A.), controle robusto, controle ótimo, controle preditivo, etc. Neste escopo, surge uma certa liberdade em termos de conteúdo contemplado que muda de instituição para instituição de ensino, sobretudo pela formação acadêmica de cada profissional responsável pela disciplina.

Considerando o universo ou campo empírico escolhido para a realização dos experimentos deste trabalho, a disciplina de controle avançado do curso de bacharelado em engenharia de controle e automação, tem seu conteúdo composto basicamente de duas unidades ou partes. A primeira parte refere-se à identificação de sistemas, ou obtenção de modelos dos sistemas reais a partir de dados coletados do processo, utilizando para isso RNA's (Redes Neurais artificiais). Na segunda parte, é apresentado o controle *fuzzy* de processos industriais. Esse conteúdo é assim organizado com o intuito de apresentar ao aluno métodos não convencionais de modelagem de sistemas e controle de processos, basicamente por meio da inteligência artificial. A ementa completa pode ser vista no ANEXO II. As ementas das demais disciplinas do curso estão disponibilizadas no endereço <http://www.iff.edu.br/campus/campos-centro/cursos/ensino-superior/cursos-de-bacharelado/engenharia-de-controle-e-automacao-1>.

Quando se matricula nesta disciplina, o aluno já cursou as disciplinas anteriores relativas à engenharia de controle, de tal sorte que seu esquema de significação para conceitos e termos correntes já estão supostamente constituídos. O problema reside no conteúdo relativo à I.A. Fazem parte dessa área as RNA's e a lógica *fuzzy*, as quais apresentam um grau razoável de complexidade para o entendimento dos alunos, sobretudo, quando o professor se utiliza apenas de aulas expositivas e de exercícios. O problema se agrava, pois, o objetivo da disciplina não é apenas fazer com que o aluno aprenda estes dois paradigmas da I.A., mas também relacioná-los com a atividade fim de um engenheiro de

controle e automação, que são duas barreiras: identificação de sistemas e o desenvolvimento de sistemas de controle eficazes.

Mesmo que os alunos superem essas duas barreiras de aprendizagem com o modelo instrucionista atual, ainda vão se deparar com a falta de experiência em situações-problema comuns em sua prática profissional, ou seja, no desenvolvimento e validação de sistemas de controle avançado concebidos.

O surgimento da pedagogia como ciência e área de conhecimento fez com que, ao passar do tempo, alguns pesquisadores e gestores de educação se esquecessem dos elementos constituintes básicos de um modelo pedagógico. É possível detectar em muitos trabalhos científicos, tal como em sistemas educacionais estabelecidos, a ausência desses elementos. Em determinadas situações, o que desaparece é a teoria da aprendizagem; em outras, o objeto de estudo e mecanismo de avaliação.

A pesquisa em educação surge da necessidade de responder à mais famosa das perguntas nessa área: “Como os alunos aprendem?”. Essa pergunta, talvez, nunca seja precisamente respondida, mas permite que, ao tentar respondê-la, muito se avance na melhoria do processo de ensino-aprendizagem.

O objetivo de pesquisar educação e tentar entender os mecanismos que levam à aprendizagem tem como base o desejo de dominar este processo e conseguir sistematizá-lo. Todavia, é sabido que as pessoas nem sempre aprendem da mesma forma e o próprio conceito de aprendizagem é bastante complexo e subjetivo a ponto de tornar nebulosa sua percepção.

Mas, sem dúvida, modelos pedagógicos que não possuam bases em alguma teoria da aprendizagem são mais suscetíveis a desvios nos resultados ao se tentar reproduzir, pois foram estabelecidos sem ter em mente como o público alvo específico do processo de ensino-aprendizagem (os alunos) aprende.

Percebe-se, então, a necessidade de estabelecer primeiro, qual será o público alvo do modelo pedagógico. No que tange à pesquisa, e mais propriamente o experimento didático pedagógico controlado, trata-se do campo empírico.

Um modelo pedagógico é sempre proposto para um público alvo. Neste trabalho o público alvo constitui-se dos alunos do curso de Engenharia de Controle e Automação. O recorte utilizado para o experimento de pesquisa são os alunos do Instituto Federal

Fluminense (IFF) no 8º período do curso, matriculados no componente curricular chamado Controle Avançado.

A partir da definição do público alvo, o próximo passo é então definir uma teoria cognitiva da aprendizagem que seja mais adequada a esse público, que seja formulada com base em estudos e com foco no segmento que se deseja investigar ou estimular. Por exemplo, em um modelo pedagógico para o ensino de engenharia não é aconselhável utilizar teorias cognitivas da aprendizagem que considerem o indivíduo em formação, do ponto de vista dos estágios de desenvolvimento cognitivo (PIAGET, 2007).

O público alvo, nesse contexto, constitui-se de alunos que já operam sobre operações, o que Piaget estabeleceu como operatório formal, e que é o estágio máximo de desenvolvimento cognitivo do indivíduo em formação. Deve-se deixar claro que desenvolvimento cognitivo não é o mesmo que aprendizagem.

O que se deseja investigar ou estimular deve estar ligado à cognição, pois mesmo sabendo que aspectos emocionais, interação com o meio, e estilos de aprendizagem influenciam no processo de construção do conhecimento, o processo de aprendizagem ainda é muito determinado no que ocorre internamente nas estruturas cognitivas do indivíduo, sobretudo na evolução dinâmica do conhecimento organizado nessas estruturas. Para ser mais concreto, trata-se de organização, compreensão e extensão do conhecimento.

Poder-se-á, então, a partir desse ponto, estabelecer a forma como deve ser conduzido o processo de ensino-aprendizagem para que sejam estimulados os três aspectos acima citados do ponto de vista das práticas pedagógicas e que sejam evidenciadas, do ponto de vista da pesquisa e do experimento. Isso permite que se estabeleçam as estratégias de mediação entre os atores do processo, o conteúdo trabalhado e o aparato tecnológico utilizado.

Durante o processo de ensino-aprendizagem existem momentos alternantes nos quais ora o professor é o ator principal do processo (aulas expositivas), ora o aluno o é (produção ou autoria). Como esse processo é dinâmico e evolutivo do ponto de vista da aprendizagem, é necessário que se estabeleçam momentos nos quais o indivíduo seja avaliado.

Existem diversas vertentes em educação que estabelecem como o processo avaliativo deve ser conduzido durante o processo de ensino-aprendizagem. Alguns optam

por provas objetivas e subjetivas aplicadas em marcos de tempo durante o semestre letivo (avaliação por desempenho), outros optam por um conjunto de atividades de autoria por parte dos alunos e posterior análise dessas atividades (avaliação mediadora), e finalmente, outros estabelecem um híbrido desses paradigmas.

O importante é notar que tanto no modelo pedagógico quanto no experimento didático-pedagógico, o momento avaliativo pode fornecer subsídios para uma análise teórica sobre os resultados de pesquisa, ressaltando a eficácia do modelo proposto, ou questionando-o, bem como mensurar (nem sempre numericamente) a aprendizagem.

As teorias cognitivas da aprendizagem lançaram as bases para a criação de modelos pedagógicos vigentes no mundo. Esses modelos são responsáveis pela estruturação da educação em todos os seguimentos possíveis, considerando as realidades de cada país.

Um modelo pedagógico é uma composição de alguns elementos e cada um desses elementos possui um papel importante nesse conjunto, sendo então, imprescindíveis para a consistência do modelo.

Não existe consenso sobre o que é realmente um modelo pedagógico, muitos autores consideram o modelo pedagógico apenas o arcabouço teórico utilizado como base para a prática pedagógica. Essa é a visão de modelo pedagógico considerada por Becker (2001), Loder (2001) e Schnaid (2003).

Neste trabalho, o conceito de modelo pedagógico será estendido para alcançar outros elementos não necessariamente teóricos, aproximando-se dos conceitos de metodologia pedagógica ou método pedagógico. A manutenção do termo “modelo” é dada em função da amplitude da proposta.

Os elementos básicos de todo modelo pedagógico são: 1 – uma teoria da aprendizagem; 2 – um objeto de estudo, o qual engloba conteúdos, práticas e aparato tecnológico (no sentido amplo); 3 – um mecanismo de avaliação.

Tendo em vista essa demanda de formação, torna-se necessária a pesquisa para desenvolvimento de modelos pedagógicos mais compatíveis às necessidades de formação atuais e às demandas profissionais do mercado de trabalho com relação ao engenheiro.

Para isso foram utilizadas a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel

(AUSUBEL *et al.*, 1978) e a avaliação mediadora de Jussara Hoffmann (HOFFMANN, 1994) para elaborar experimentos didático-pedagógicos que visam investigar evidências da aprendizagem significativa em turmas de controle avançado em um curso de engenharia de controle e automação.

Esta tese propõe o Modelo pedagógico constituído para utilização no processo de ensino-aprendizagem em cursos de Engenharia de Controle e Automação baseado predominantemente na Teoria da Aprendizagem Significativa (MECATAS).

Como ferramenta para tornar a prática docente mais adequada foi utilizada uma plataforma ou sistema tecnológico para o ensino de engenharia de controle. Essa plataforma é composta de um software de simulação matemática MATLAB/SIMULINK® rodando sobre um computador do tipo PC e um protótipo de planta de destilação de etanol, Figura 1.



Figura 1. Protótipo de uma coluna de destilação de etanol.

Com essa plataforma, combinada ao modelo pedagógico proposto que valoriza a participação do aluno e a construção da aprendizagem, serão investigados os conceitos pertinentes desta teoria. Os resultados são analisados e os impactos no ensino de engenharia de controle são discutidos, além da influência da plataforma tecnológica no processo de ensino-aprendizagem. Na seção 4.1, a plataforma tecnológica é devidamente detalhada.

Segundo Schnaid *et al.* (2003), as recomendações da ABET– *Accreditation Board for Engineering and Technology*, instituição norte-americana que procura estabelecer critérios de qualidade específicos para cada habilitação, os cursos de graduação devem estimular a capacidade para aplicar conhecimento de matemática, ciências e engenharia; projetar e conduzir experimentos; analisar e interpretar resultados; projetar um sistema, componente ou processo para atender a determinados requisitos; atuar em equipes multidisciplinares; identificar, formular e resolver problemas de engenharia; poder compreender a natureza da ética e da responsabilidade profissional; comunicar-se efetivamente (por escrito e oralmente); entender o impacto das soluções da engenharia no contexto social e ambiental; buscar a aprendizagem permanente; e ainda **usar técnicas e ferramentas modernas para o exercício da prática da engenharia.**

A utilização de ferramentas modernas para o exercício da prática é um dos grandes pilares da disciplina de controle avançado dentro do curso superior de engenharia em controle e automação no IFFluminense. Com o suporte computacional apropriado, este profissional, ainda em formação, pode ter acesso a situações-problema comuns em sua prática profissional. Em consonância a este recurso, uma estratégia didático-pedagógica é elaborada para favorecer a produção/autoria e desenvolvimento do aluno. Para tanto, certos aspectos não podem deixar de ser destacados e o processo avaliativo é um dos mais importantes.

O acompanhamento do processo de construção de conhecimento implica favorecer o desenvolvimento do aluno, orientá-lo nas tarefas, oferecer-lhe novas leituras ou explicações, sugerir-lhe investigações e proporcionar-lhe vivências enriquecedoras e favorecedoras à sua ampliação do saber (HOFFMANN, 1994).

No contexto da formação fundada em paradigmas que se constituem a partir do construtivismo, das pedagogias críticodialógicas e sócio-interacionistas, a avaliação educacional não é algo que está dissociada do grande conjunto processual que configura a educação formal escolar e universitária. Ela é intrínseca à prática educativa, ao ensino e à aprendizagem (AHLERT, 2002).

A avaliação da aprendizagem deve ser contínua e presente ao longo de todo o processo de ensino-aprendizagem, já que uma avaliação estanque como uma prova não é

capaz de representar todo o conhecimento construído nas estruturas cognitivas do aluno.

A aprendizagem significativa pode fornecer um modelo para a mudança de paradigma no ensino de engenharia de controle e automação. A utilização de mapas conceituais apresenta-se como uma potencial ferramenta para a melhoria da prática docente e, principalmente, para a investigação da aprendizagem. Na seção 1.2, é apresentada a questão de pesquisa desta tese.

1.2 Questões de pesquisa

Como a plataforma tecnológica proposta pode proporcionar o desenvolvimento da aprendizagem significativa em alunos de um curso de engenharia de controle e automação?

Na investigação conduzida para este trabalho não foi considerada objetivo a identificação numérica de elementos a serem investigados, mas sim se aparecem e de que forma. Os elementos em questão são: subsunçores, diferenciação progressiva, reconciliação integradora, generalização e compreensão. Esse fato implica a necessidade de investigação científica na forma de estudo de caso, em que não se deseja testar estatisticamente uma hipótese, mas sim tentar responder a uma questão de pesquisa:

“Como o modelo pedagógico proposto propicia a aprendizagem significativa?”

1.3 Objetivos

Propor um modelo pedagógico para o processo de ensino-aprendizagem em engenharia de controle e automação.

Propor uma plataforma tecnológica para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem de engenharia de controle e automação com base no MATLAB® e em um protótipo de coluna de destilação.

Investigar as evidências da aprendizagem significativa em um curso de engenharia e controle e automação, por meio dos mapas conceituais e demais instrumentos de pesquisa, para validação do modelo pedagógico proposto.

1.4 Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho segue as etapas:

- ✓ Desenvolvimento de uma plataforma tecnológica composta pelo SIMULINK/MATLAB® e pelo sistema real. Neste caso, a coluna de destilação piloto;
- ✓ Desenvolvimento do modelo pedagógico proposto;
- ✓ Elaboração de experimento didático-pedagógico para identificar evidências da aprendizagem significativa durante a utilização do modelo pedagógico;
- ✓ Coleta de dados para análise por meio dos instrumentos de pesquisa, destacando-se entre eles os mapas conceituais;
- ✓ Análise dos resultados sob a luz da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS).

1.5 Estrutura do trabalho

Esta tese está estruturada em sete capítulos e apresenta em cada um deles os seguintes assuntos:

CAPÍTULO 1 – Introdução, com a contextualização, justificativa do tema/problema, questão de pesquisa, exposição dos objetivos e organização do trabalho.

CAPÍTULO 2 – É apresentada a fundamentação teórica do trabalho perpassando as principais teorias da aprendizagem que subsidiam e apoiam esta pesquisa.

CAPÍTULO 3 – É apresentado o estado da arte da pesquisa, os trabalhos desenvolvidos sobre modelos pedagógicos na engenharia e mudança de paradigmas na engenharia. É também apresentado o estado da arte de laboratórios para o ensino de controle e automação, bem como trabalhos relacionados ao ensino de engenharia de controle e automação.

CAPÍTULO 4 – Apresentação do modelo pedagógico proposto, com foco na plataforma tecnológica empregada.

CAPÍTULO 5 – Neste capítulo, é apresentado o experimento didático pedagógico, detalhando os instrumentos de pesquisa utilizados, protocolos de observação e registro.

CAPÍTULO 6 – Este capítulo apresenta uma análise dos resultados obtidos pelos instrumentos de pesquisa com ênfase nos mapas conceituais e um extrato da análise qualitativa sobre os dados coletados.

CAPÍTULO 7 – Considerações finais, perspectivas de desdobramento do trabalho e propostas para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 8 – Referências

2. Modelos pedagógicos e discussões sobre ensino de engenharia

Com o intuito de apresentar um estado da arte da pesquisa com foco no ensino de engenharia, perpassando pelos modelos e paradigmas pedagógicos utilizados, este capítulo compila recentes trabalhos com essa temática, com foco no contexto da pesquisa aqui desenvolvida.

Não é propósito realizar uma extensa retrospectiva histórica sobre controle e automação nem tampouco uma aprofundada discussão acerca do ensino de engenharia, mas sim, evidenciar a necessidade de mudança e os caminhos recentemente desenvolvidos.

2.1 A Mudança de paradigmas no ensino de engenharia

O ensino de engenharia no Brasil e no mundo é fortemente marcado pela formação do profissional pela instrução de técnicas necessárias a sua atividade profissional. A necessidade disso não se discute, o que normalmente é posto à prova é a falta de conexão, muitas vezes, entre o que se instrui e o que, realmente, o mercado de trabalho requer.

Nos últimos anos, uma série de trabalhos científicos tem investigado a necessidade de mudança de paradigmas de ensino na engenharia para atender a uma demanda de formação do engenheiro para que este se torne um profissional mais aderente ao ambiente corporativo. Com o advento da computação, não só os processos produtivos foram automatizados, mas também as tarefas de projeto e desenvolvimento inerentes à formação do engenheiro.

Hoje, não mais o engenheiro precisa executar os cálculos necessários à sua prática profissional, existindo diversas ferramentas computacionais que auxiliam o profissional nessa árdua tarefa com o benefício de aliviá-lo para ações nas quais suas capacidades, criativa e intelectual, sejam mais necessárias.

Essas ferramentas computacionais associadas aos modelos e padrões exigidos pelas atividades cotidianas nas empresas de engenharia têm permitido que os profissionais possam assumir outras tarefas tais como planejamento estratégico, direção e administração de equipes entre outras. Esse tipo de movimento se tornou comum nas grandes corporações e empresas do país; todavia o mercado de trabalho se tornou bastante competitivo e as empresas de produtos e serviços necessitam sempre se atualizar e inovar para conquistar

novos clientes. Para formar um engenheiro capaz de conceber, projetar, implementar e operar sistemas de engenharia, faz-se necessária uma adequação dos currículos e, sobretudo, da prática docente na engenharia para aproximar os conteúdos e problemas de sala de aula dos conteúdos de problemas existentes no mercado de trabalho.

O modelo baseado no ciclo CDIO (*Conception Design Implementation and Operation*) (BERGGREN *et al.*, 2003) é bastante difundido na Europa, e tem como filosofia ensinar o aluno da engenharia com base no ciclo de trabalho do engenheiro durante sua prática profissional.

Analisando os passos desse ciclo, acredita-se que apesar de o mesmo levar em conta as etapas de trabalho de um engenheiro em sua prática profissional, o CDIO não consegue garantir que esse processo de ensino-aprendizagem se desenvolva de forma eficaz em sala de aula, pois não apresenta elementos teóricos cognitivos na sua concepção para entender como o aluno aprende e sistematizar o processo de ensino.

A etapa de operação do ciclo de CDIO só pode ser reproduzida em sala de aula com o auxílio de aparato tecnológico apropriado, pois se trata de acompanhar a operação de um sistema de engenharia anteriormente concebido, projetado e desenvolvido. Uma série de trabalhos de pesquisa utiliza laboratórios virtuais para contornar essa demanda de formação. Todavia, os que possuem maior potencial para essa tarefa são os protótipos de sistemas reais, emulando em escala laboratorial os sistemas encontrados na prática profissional. Alguns desses trabalhos podem ser vistos na seção 4.1 do capítulo 4.

No caso do engenheiro de controle e automação, as etapas de implementação e operação do modelo CDIO só podem ser trabalhadas em ambiente acadêmico se existir aparato tecnológico disponível para isso, ou se esse for construído pelo aluno durante o processo formativo.

O trabalho de Carvalho *et al.* (2009) apresenta uma plataforma tecnológica para o ensino de controle e automação baseada na integração de sistemas computacionais e protótipo de uma coluna de destilação. A integração entre o SIMULINK do MATLAB® e a instrumentação industrial da coluna de destilação piloto permite que os engenheiros em formação desenvolvam e validem os sistemas de controle automáticos por eles concebidos e projetados, em um ambiente flexível, permitindo ao aluno a reformulação e o ajuste de

parâmetros do controlador bem como rearranjo do sistema de controle automático durante os testes.

A integração com o protótipo na etapa de testes e validação permite que o aluno se depare com problemas comuns em um ambiente profissional, como materiais e métodos. Os ajustes necessários dos sistemas de controle projetados com base em métodos matemáticos podem ser feitos e reavaliados no que tange ao desempenho do sistema de controle, oportunizando ao aluno uma experimentação prática rica e próxima da sua realidade profissional.

Vallim (2008) apresenta um modelo reflexivo para formação de engenheiros baseado em princípios pedagógicos como “saberes práticos e teóricos”, “aprender fazendo”, “contexto” e “pensamento reflexivo”. Foca, basicamente, na proposição de um modelo pedagógico para o ensino de engenharia pautado na abordagem de utilização de problemas reais para nortear o desenvolvimento dos saberes teóricos e práticos do engenheiro em formação. O trabalho culmina na apresentação e discussão de um currículo de engenharia de controle e automação além da comparação entre este e o currículo tradicional.

Apesar de o trabalho de Vallim (2008) apresentar uma boa estruturação teórica e pedagógica para concepção do modelo proposto, muitas outras iniciativas utilizando o PBL (*Problem Based Learning*) têm sido desenvolvidas. Ao tentar organizar essa metodologia em um modelo pedagógico, o referido trabalho limita-se apenas a refletir sobre currículo.

Neste trabalho, o leitor poderá perceber que as principais diferenças sobre o modelo com relação ao trabalho de Vallim são: 1 – experimento didático pedagógico para validação do modelo proposto, 2 – modelo pedagógico mais abrangente contemplando também a prática pedagógica e 3 – fundamentação teórica embasada.

Neste terceiro item, no que diz respeito ao embasamento, na visão deste autor a abordagem PBL trata-se de uma metodologia pedagógica, mas que não possui teoria cognitiva da aprendizagem suficientemente robusta para descrever os processos cognitivos de aprendizagem.

É muito complicado para um modelo pedagógico se basear apenas em uma metodologia pedagógica, consolidada como o PBL, mas que não apresenta elementos cognitivos estruturais para uma identificação da aprendizagem.

Rodrigues *et al.* (2002) enfatizam a importância da aprendizagem de conceitos na engenharia, sobretudo, da engenharia de controle e automação e definem um modelo de abordagem pedagógica que chamam de *concepts-on education* que combina uma série de elementos cognitivos para montar uma rede conceitual para o ensino de controle e automação.

A abordagem proposta é basicamente sobre aprendizagem de conceitos e evolução de uma rede de conceitos coletiva corroborando a importância da aprendizagem conceitual como sendo um dos possíveis paradigmas para o ensino de engenharia. Finalizam o trabalho apresentando uma proposta de aplicação do modelo ao qual denominaram *Virtual Control School*, mas não apresentam resultados de experimentação.

Silva e Cecílio (2007) apresentam em seu trabalho uma discussão da relevância e necessidade da mudança de modelo de ensino para a formação na engenharia. Destaca a necessidade de mudança do modelo de ensino na engenharia e o esgotamento do modelo tradicional instrucionista, sugerindo uma mudança para um modelo mais afinado com as demandas de mercado e baseado em experiência de profissionais oriundos do mercado de trabalho. Finalizam sugerindo que a mudança demanda recursos que extrapolam os muros das instituições de ensino que devem ser sistematizadas por políticas públicas.

O trabalho de Silva e Cecílio (2007) apresenta um grande potencial ao discutir de forma clara o tema, mas como a maioria dos trabalhos desenvolvidos na área, acaba por limitar-se em algum ponto específico não atingindo a totalidade do problema. Definem como sendo limitada a ação da instituição de ensino e destaca a necessidade de políticas públicas. Defendem a mudança do modelo predominantemente baseado em instrução transmitida pelo professor para um modelo no qual o próprio aluno pode buscar por meio das tecnologias atuais uma complementação ao currículo tradicional rompendo as barreiras entre disciplinas e soluções fixas e acabadas.

O problema é que na visão dos autores essa abordagem de mudança deve ser estimulada pelos órgãos superiores de educação quando, na verdade, a mudança necessária será realizada na prática docente, na utilização de recursos didáticos e, principalmente, na adoção de modelos pedagógicos que tentem minimizar essa distância entre currículo e prática profissional.

Andrade *et al.* (1997) apresentam um extrato do panorama atual sobre os aspectos cognitivos providos pelo modelo de ensino de engenharia face às exigências do mercado competitivo e da inovação tecnológica. Divide em três tipos de perfis profissionais: cientista – ligado à produção de novos conhecimentos na sua área; projetista – ligado à utilização do estoque de conhecimento disponível para executar novos projetos; e sistêmico – ligado à resolução de problemas no mundo da produção. Apresenta os resultados da pesquisa e percebe-se que os engenheiros entrevistados apontam como sendo predominantemente do segundo perfil. Destacam, ainda, a importância do conhecimento prático adquirido no local de trabalho como condição necessária a sua manutenção na atividade profissional.

A pesquisa apresentada no trabalho de Andrade *et al.* (1997) mostra que a aplicação do conhecimento adquirido e a experimentação prática são os elementos necessários e demandados, atualmente, ao engenheiro. Este cenário apenas corrobora a visão de que modelos pedagógicos devem ser cada vez mais desenvolvidos e aplicados com o intuito de promover o desenvolvimento formativo para o engenheiro diante das demandas profissionais que o aguardam.

O ensino de engenharia tem sido tratado no Brasil e no mundo de forma bastante exploratória e sob diversos ângulos. Pode-se destacar a visão do contexto social do engenheiro através dos estudos CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), a questão do currículo do engenheiro sempre tão discutida pelos órgãos que fiscalizam o profissional engenheiro e também pelos órgãos que regulamentam a educação no Brasil, resultando mais recentemente na Resolução Nº 1.010, de 22 de agosto de 2005, que define diversos aspectos dos cursos de engenharia no país.

Um aspecto bem importante – e é sob este olhar que irá se desenrolar esta seção – é aquele que se encarrega dos modelos pedagógicos utilizados para o processo de ensino-aprendizagem de engenharia, bem como a prática docente relacionada.

Relatos de experiência, estudos exploratórios e teses indicam um crescimento da pesquisa nesta área como forma de desenvolver ou adaptar modelos pedagógicos para subsidiar a prática docente nas aulas de engenharia, visando a uma maior participação do aluno. Faz-se necessária uma educação que se baseie, não mais na transmissão do

conhecimento por parte do educador, mas da construção dialógica decorrente da interação do sujeito com o objeto de estudo, provocando mudanças significativas nas estruturas cognitivas e, conseqüentemente, produzindo aprendizagem.

Nos últimos anos, diversos estudos têm sido desenvolvidos para melhorar o processo de ensino-aprendizagem na engenharia, sendo que alguns desses trabalhos são apresentados em Figueiredo *et al.* (2001), Schnaid (2003) e Machado e Pinheiro (2009).

O curso de engenharia de controle e automação é um curso relativamente novo no Brasil, sobretudo, quando comparado a outros cursos de engenharia como mecânica, elétrica, materiais e construção civil. Mas mesmo assim padece dos mesmos problemas de ensino-aprendizagem que os cursos mais antigos – memorização de técnicas, termos e procedimentos em vez de desenvolvimento de competências e aprendizagem significativa. Logo, toda a iniciativa de mudança de paradigma na engenharia deve ser enxergada como um ato de valor dentro do sistema educacional brasileiro.

Borenstein e Bruciapaglia (1997) apresentam uma análise do processo de criação de habilitações em cursos de engenharia por meio de um estudo de caso com o curso de engenharia de controle e automação na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os autores destacam a importância e necessidade do processo de horizontalização do currículo do curso de engenharia e também a necessidade de atender a demandas presentes e futuras do país em termos de formação profissional na engenharia. Utilizam, como método de análise, a abordagem contextualista com níveis verticais e horizontais e suas interconexões ao longo do tempo.

O contexto histórico da criação da habilitação e curso de engenharia de controle e automação da UFSC foi utilizado como estudo de caso, e os aspectos cobertos pela metodologia foram analisados e apresentados. Um modelo conceitual relacionando as forças intervenientes do processo de mudança foi apresentado e também a conclusão acerca dos fatores de sucesso do processo de mudança.

Figueiredo *et al.* (2001) propõem a utilização da simulação como estratégia de ensino-aprendizagem em cursos de engenharia de produção e de administração de negócios. Os autores destacam um problema característico na formação de engenheiros que é a dificuldade de obtenção da visão sistêmica necessária para o exercício da profissão. A visão

do aluno é – na maioria das vezes – durante o curso e nos primeiros anos de prática profissional, compartimentada e não-sistêmica, aumentando substancialmente o tempo de penetração do profissional no mercado.

A simulação surge como uma ferramenta para oportunizar aos alunos situações nas quais tenham que interagir e integrar os conhecimentos adquiridos nas disciplinas do curso, e sua aplicabilidade à representação de situações encontradas na prática profissional.

A técnica apresentada funciona de forma complementar às aulas expositivas e tem o intuito de simular situações da prática profissional do engenheiro de produção nas quais situações-problema são apresentadas. Grupos de alunos devem buscar soluções sem roteiros prévios ou gabaritos de solução a partir da interação entre os grupos e com constante supervisão dos professores operando como facilitadores do processo de construção do conhecimento quando o aluno é o ator principal.

O modelo utilizado pelos autores para realizar as simulações, ou seja, a metodologia pedagógica utilizada foi a *System Dynamics* (Forrester, 1961, *apud* Figueiredo *et al.*, 2001). Neste modelo, uma série de instrumentos para análise de políticas operacionais de empresas é utilizada para medir a relação entre os fornecedores e clientes e determinar o desempenho ao longo do tempo. A experiência foi realizada no âmbito da Universidade Federal de São Carlos em São Paulo e o modelo de Forrester foi utilizado para analisar a evolução do processo de aprendizagem durante o experimento.

A necessidade de uma plataforma que possa conciliar os dois aspectos da engenharia de controle parece evidente. O engenheiro precisa aplicar as técnicas mais elaboradas em termos científicos aos processos industriais e tecnologias vigentes na indústria. Neste sentido, a conexão do MATLAB/SIMULINK®, para o desenvolvimento de estratégias de controle fundamentadas matematicamente, a uma planta piloto que possui instrumentação industrial, viabiliza a realização de testes dos sistemas de controle projetados. Isso permite a fácil alteração de tais estratégias no ambiente do MATLAB/SIMULINK® e a possibilidade de desenvolvimento de estratégias de controle que não são contempladas pelos instrumentos disponíveis na indústria.

Tham e Jones (2002) apresentam uma proposta de *framework* que integra a utilização de laboratórios e de conteúdo interativo digital para o ensino de controle de

processos. Os autores contextualizam o problema destacando que nos cursos de engenharia química, normalmente controle de processos é visto em pouco tempo e, normalmente, com aspectos puramente matemáticos e pouco interessantes e motivadores para os alunos. A utilização de laboratórios e de unidades de aprendizagem digital (com suporte de computadores) já foi utilizada separadamente e os autores propõem a utilização destes recursos de forma integrada. Na Figura 2, é apresentado o *framework* proposto pelos autores.

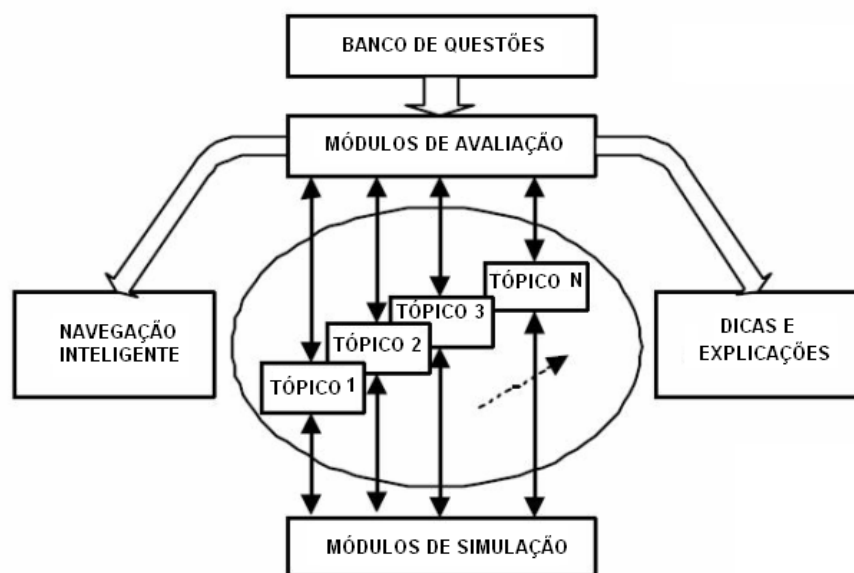


Figura 2. Estrutura de informação do modelo de integração proposto. (Adaptado de Tham e Jones, 2002).

O diagrama da Figura 2 é um modelo que sintetiza as etapas de um processo de ensino-aprendizagem auxiliado pela tecnologia disponível em termos de laboratório e unidade digital de aprendizagem e é composta de módulos de aulas expositivas, módulos de simulação, módulos de avaliação e também um roteiro guiado. Todo o processo ocorre baseado em tópicos de aprendizagem definidos pelos construtores do ambiente de ensino.

O trabalho de Tham e Jones (2002) peca pela ausência de modelo pedagógico utilizado para nortear a construção do ambiente proposto. Percebe-se que, neste ambiente, o processo só reproduz o modelo instrucionista comportamentalista, dando poucas oportunidades de o aluno desenvolver suas próprias simulações e conteúdos. Percebe-se, ainda, que o processo avaliativo não passa de uma verificação do desempenho do aluno em reproduzir com êxito algo padronizado e considerado correto. O processo de aprendizagem

e a organização do conhecimento, por parte do aprendiz, é praticamente desconsiderada pelo ambiente deixando uma lacuna a ser preenchida. Como aspectos positivos deste trabalho, pode-se destacar a iniciativa de integrar um ambiente de suporte à aprendizagem com conteúdo digital disponível e um ambiente de simulação de laboratórios para exercício da prática de controle de processos.

Schnaid *et al.* (2003) realizam um experimento didático-pedagógico no curso de engenharia civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) por meio da utilização do modelo construtivista de ensino-aprendizagem, no ensino de engenharia civil. O experimento foi circunscrito às turmas de mestrado e de graduação, em que recursos foram disponibilizados aos alunos, tais como: vídeos, livros, lâminas audiovisuais, e outros materiais educacionais digitais. A utilização desses recursos aliada às tarefas propostas aos alunos proporciona a mudança de paradigma na prática docente. São destacados como aspectos dessa mudança: a autonomia dos alunos e a dificuldade de aceitação deste novo modelo quando em situações em que o conteúdo é complexo.

O trabalho de Schnaid *et al.* (2003) apresenta importantes contribuições ao ensino de engenharia civil uma vez que proporciona a mudança de paradigma, inserindo o modelo construtivista. Dentre os aspectos marcantes deste artigo, pode-se destacar a adequação do modelo construtivista epistemológico de Piaget às especificidades do ensino de engenharia e a utilização de questionários de avaliação dos recursos midiáticos disponibilizados como suporte à aprendizagem. O posicionamento dos alunos como autores principais de seu processo de ensino-aprendizagem provocou ao mesmo tempo a satisfação por parte de alguns e a insatisfação por parte de outros, sendo que alguns disseram que preferiam as aulas expositivas. Basicamente, o desfecho do trabalho aponta uma apresentação de dados relativos à aceitação dos recursos e da prática utilizada. Nos resultados, pode-se perceber que, de forma predominante, os alunos gostaram de ter participado desta mudança de paradigma e também demonstraram capacidade de resolução das tarefas propostas nesta nova realidade, evidenciando desta forma que a utilização do modelo construtivista pode ser encorajada em outros experimentos como estes.

Timm (2005) apresenta um trabalho pautado em teorias cognitivas com bases na psicologia associada a trabalhos sobre o ensino de engenharia para justificar o modelo e-

learning-by-doing como o modelo pedagógico ideal para a prática docente no ensino de engenharia. Trata-se de uma elaboração que apresenta a mesma estrutura cognitiva da atividade profissional do engenheiro, aliando teoria e prática, tomada de decisão, vivências e utilização de memória. A metodologia foi aplicada em uma turma de ensino a distância no curso de engenharia civil da UFRGS, como um experimento didático-pedagógico planejado, implantado, e com análise qualitativa dos resultados obtidos no estudo piloto.

Dym *et al.* (2005) apresentam uma análise dos principais paradigmas para implementação de cursos de engenharia de maneira geral. Os autores destacam as necessidades de um engenheiro e também os aspectos mais significativos dos principais paradigmas, sobretudo o mais utilizado, atualmente, para o ensino de engenharia: aprendizagem baseada em projetos. Ao final do trabalho, orientações gerais sobre elaboração de cursos de engenharia são apresentadas o que pode motivar pesquisas futuras. Dentre as orientações estão: deve-se dar atenção às características de subjetividade dos engenheiros, acompanhamento e atualização do currículo para verificação da consonância deste com as diretrizes da ABET, considerar os aspectos geográficos e culturais de cada lugar e por último considerar a opinião dos professores na elaboração do projeto pedagógico do curso.

O trabalho de Dym *et al.* (2005) tem o intuito de discutir os aspectos mais relevantes no desenvolvimento de um curso de engenharia, e o consegue. Apresenta como núcleo da discussão os cursos que são desenvolvidos de acordo com o modelo PBL (*Project-Based Learning*). Se considerarmos que o artigo contempla apenas o aspecto organizacional de como o curso deve ser conduzido e se limita a adequar a tônica do curso com as competências e habilidades de um engenheiro estabelecidas pela ABET, fica faltando a fundamentação teórica que embasa o modelo destacado no trabalho.

Como o engenheiro aprende? É diferente das outras pessoas? Não existe uma teoria pedagógica que possa subsidiar a construção deste modelo de curso? Este autor acredita que a teoria da aprendizagem significativa pode ser a teoria a embasar não só o modelo pedagógico de um curso de engenharia, mas também no dia a dia da prática docente. A verificação da aprendizagem significativa, em certo momento, sugere a utilização de desafios ao aluno para que ele mostre que adquiriu conhecimento a fim de solucionar novos

problemas. Neste caso, PBL surge muito mais como método do que como modelo pedagógico.

Schaf (2006) apresenta a arquitetura de um ambiente de ensino de controle e automação baseado em experimentos remotos e realidade mista. O trabalho apresenta como principal objetivo a utilização da experimentação remota como recurso para o aprimoramento do ensino de controle e automação. O enfoque da EaD (Educação a Distância) é dado no trabalho fazendo uso da plataforma Moodle para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem tanto para alunos que têm acesso ao laboratório físico, ou seja, matriculados em curso regular, como os alunos inscritos em cursos a distância. Além do acesso à planta de processo física que, neste caso, é uma planta para controle de nível com tanques acoplados, são utilizados simuladores virtuais dando origem a um ambiente de realidade mista. O trabalho faz parte do projeto europeu ALFA LEAL (ALVES e FLORENZA, 2009) que é um cinturão de laboratórios que pode ser acessado remotamente, no qual a planta da UFRGS faz parte.

Apesar de possuir um forte viés para a EaD, o trabalho peca pela falta de aprofundamento educacional e de verificação da sua importância no contexto da aprendizagem, ou seja, como, quanto e porque esta plataforma contribui para a aprendizagem em um curso de engenharia de controle e automação? Esta lacuna deixada deve e será suprida pelo presente trabalho de tese proposto no que diz respeito à utilização da plataforma em estudantes de um curso de engenharia de controle e automação, destacando as diferenças entre as plataformas tecnológicas utilizadas, e incluindo uma concepção pedagógica e teoria da aprendizagem que fundamente o trabalho.

Os experimentos utilizados no trabalho de Schaf (2006) são notadamente tecnologistas e estão preocupados apenas em verificar o desempenho do equipamento durante o acesso remoto por parte do aluno. A disponibilidade de material educacional digital como tutoriais e outros é utilizada como justificativa para auxílio do processo de ensino-aprendizagem.

Simões *et al.* (2006) apresentam a utilização da plataforma LEGO Mindstorm® em disciplinas do ciclo básico de um curso de Engenharia de Controle e Automação da UNESP (Universidade Estadual Paulista). Neste trabalho, é explorado basicamente o componente

motivacional dos alunos por meio da utilização de kits da LEGO® de fácil manipulação e programação para estimular no corpo discente, já nas disciplinas do ciclo básico, as competências necessárias a um engenheiro de controle e automação.

A abordagem teórica do trabalho é apresentada na seção de introdução e trabalhos correlatos, e resume-se a justificar a iniciativa da utilização da plataforma proposta por possibilitar ao engenheiro em formação a liberdade para construção de seus próprios robôs para realização de tarefas. Destaca positivamente a mudança de paradigma do instrucionista para o construtivista, permitindo que o aluno seja autor do processo de ensino-aprendizagem e possa por sua conta adquirir as informações e conhecimentos necessários para o desenvolvimento da tarefa. Aponta, ainda, a constante troca de experiência entre os alunos e os grupos de trabalho e o desenvolvimento de competências inerentes ao engenheiro de controle e automação, numa perspectiva de solução de problemas tendendo para o PBL (*Problem Based Learning*).

A iniciativa é bastante válida como método de motivação e ambientação dos alunos com o curso no qual estão inseridos, mas faz-se necessária a conexão da teoria e prática em outros momentos do curso como nas disciplinas de conclusão: controle avançado e laboratório de controle e automação. Para isso, faz-se necessária uma plataforma tecnológica que ofereça a mesma liberdade de desenvolvimento de soluções para sistemas de controle acessando equipamentos mais próximos da realidade industrial que, provavelmente, encontrarão em sua prática profissional. A plataforma tecnológica proposta neste trabalho vem atender a esta lacuna.

Silva e Cecílio (2007) apresentam uma análise da mudança que ocorre no modelo de ensino e na formação dos profissionais de engenharia. Faz considerações sobre a mudança de paradigmas da educação do comportamentalista para o construtivista, passando pela necessidade de um ensino contextualizado e que conecte teoria e prática. Discute a influência da sociedade e do mercado de trabalho sobre o ensino e destaca a distância do ensino de engenharia atual para o considerado ideal. Encerra destacando que as instituições de ensino devem ser diferentes das demais e a mudança no ensino deve ser lenta e gradual e seguir os interesses primordiais da escola e não interesses que venham a descaracterizar sua missão.

Abdulwahed e Nagy (2008) apresentam uma abordagem construtivista para um laboratório de controle de processos. Destacam a importância do paradigma construtivista para o ensino de engenharia e também a importância da utilização de laboratórios para o ensino de controle de processos. Utilizam como base teórica do trabalho o conceito de ciclo de aprendizagem de Kolb (KOLB, 1984 *apud* ABDULWAHED e NAGY, 2008), que contém as etapas de experimentação concreta, observação reflexiva, conceituação abstrata e experimentação ativa. Para validar a proposta e responder à questão de pesquisa proposta, eles projetam um experimento didático-pedagógico lançando mão de questionários aplicados a um grupo experimental e um grupo de controle e também de pré e pós-testes de desempenho. Uma análise quantitativa é realizada e os resultados são apresentados no final do trabalho.

O trabalho de Abdulwahed e Nagy (2008) apresenta pontos bastante positivos e correlacionados com a proposta deste trabalho. O primeiro é a utilização de um modelo pedagógico ou *framework* conceitual acerca do construtivismo para abalizar o experimento de verificação da efetividade da plataforma no processo de ensino-aprendizagem. Contribui de forma significativa uma vez que atualiza o modelo de Kolb para as tecnologias utilizadas frequentemente nos cursos de controle de processos.

O trabalho peca pela ausência de relatos de impressões do professor e até mesmo dos alunos para que se possa realizar uma análise qualitativa da plataforma proposta sob a luz da teoria referenciada. A análise quantitativa visando a comparar o grupo experimental e o grupo de controle, não se mostrou muito eficiente. A solução de problemas não previstos nas aulas deveria ser utilizada para verificação da aprendizagem significativa ou construção do conhecimento e também para verificar o desenvolvimento das habilidades requeridas para um engenheiro.

Machado e Pinheiro (2009) apresentam uma metodologia para o ensino de engenharia semelhante à aprendizagem baseada em problemas, destacando a necessidade de confronto de ideias, experimentação e de situações contextualizadas para formulação destes problemas. Um estudo piloto foi realizado com alunos do curso de engenharia de produção da Universidade Tecnológica do Paraná, campus Ponta Grossa.

A utilização de relatórios é destacada pelos autores como sendo um importante instrumento para coleta de dados, por permitir que os alunos desenvolvam certas habilidades necessárias ao engenheiro bem como permite uma análise apurada do processo utilizado pelos alunos para solucionar problemas.

Souza e Dandolini (2009) apresentam a utilização de simulação computacional como uma estratégia para o ensino de engenharia. Os autores utilizaram para esta finalidade o MATLAB® em um estudo que utilizou lógica *fuzzy* em um sistema de controle de qualidade da cerâmica vermelha. Esse sistema foi desenvolvido pelos alunos e, segundo os autores, a utilização da simulação como estratégia de ensino proporcionou a aprendizagem significativa dos conceitos.

O trabalho de Souza e Dandolini (2009) apresenta alguns aspectos interessantes no sentido de que apresenta uma prática educativa para o ensino de engenharia, utilizando o software MATLAB® o qual permite uma boa liberdade por parte do aluno para o desenvolvimento de sistemas no ambiente SIMULINK® que disponibiliza uma série de blocos funcionais para o desenvolvimento desses sistemas. Outro aspecto importante do trabalho é que apresenta uma fundamentação em termos de teoria da aprendizagem, pois utiliza a aprendizagem significativa. Apresenta alguns pontos negativos também. Por exemplo, não organiza os instrumentos utilizados para coleta de dados do experimento didático-pedagógico que, aparentemente, também não possui uma caracterização, planejamento, entre outros. Os elementos da teoria da aprendizagem significativa a serem investigados não ficam claros na análise dos resultados.

É necessário que seja realizado um estudo mais aprofundado dos impactos dos laboratórios que utilizam o MATLAB/SIMULINK® como tecnologia capaz de promover a autonomia na tarefa de projetar sistemas de controle. Esta tese contribuirá no preenchimento desta lacuna.

Partindo deste, cenário é perceptível que há um grande enfoque na verificação da validade da ferramenta apenas na forma quantitativa e com o processo de construção destas plataformas tecnológicas. O propósito deste trabalho é observar a evolução do aluno durante a utilização da ferramenta; o que leva, basicamente, todo o semestre letivo, lançando mão dos instrumentos de coleta de dados: mapas conceituais, questionário de

aceitação da ferramenta e relatórios do professor e dos alunos durante a resolução de problemas.

3. Fundamentação teórica

Os pressupostos teóricos que embasam esta proposta de tese estão baseados na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel (AUSUBEL *et al.*, 1978), os mapas conceituais de Joseph Novak (NOVAK e CAÑAS, 2006) e a avaliação mediadora de Jussara Hoffman (HOFFMANN, 1994).

A aprendizagem significativa é utilizada como teoria da aprendizagem central neste trabalho devido a sua aderência ao ensino de engenharia. Tipicamente, as aulas em um curso de engenharia possuem um público-alvo que já passou pelos estágios do desenvolvimento cognitivo, definidos por Piaget (PIAGET, 2007), ou seja, os alunos já possuem as estruturas cognitivas necessárias para realizar operações sobre conceitos abstratos. Estes indivíduos são considerados por Piaget como pertencentes ao estágio denominado como operatório formal. Sobre as características das aulas a que os alunos são expostos, tipicamente eles passam por aulas expositivas e outras baseadas em descoberta e em ambos os casos os alunos possuem algum esquema de significação. Para Ausubel, são subsunçores necessários para o surgimento da aprendizagem significativa. O conceito de subsunçor será explicado neste capítulo.

Os mapas conceituais serão utilizados neste trabalho como formas de representação do conhecimento do indivíduo, através dos quais será possível verificar a evolução da rede de ligações conceituais presentes em suas estruturas cognitivas.

A avaliação mediadora será utilizada como processo avaliativo inerente à prática pedagógica, e adequada ao experimento didático-pedagógico concebido para um novo modelo de ensino de engenharia de controle. A partir da necessidade de um modelo de ensino mais participativo para o ensino de engenharia, a avaliação mediadora será utilizada durante a prática docente, fazendo uso de observações e demais instrumentos de coleta de dados para verificar a evolução do aluno e a manifestação da aprendizagem significativa.

Na seção 3.1, será apresentada a fundamentação teórica sobre aprendizagem significativa.

3.1 Teoria da aprendizagem significativa

A teoria da aprendizagem significativa foi criada por Ausubel e investigada em diversas áreas do conhecimento por pesquisadores como Joseph Novak (NOVAK e CAÑAS, 2006), Marco Antônio Moreira (MOREIRA, 2006) e outros.

Ausubel propõe que, para que a aprendizagem tenha realmente efeito modificador nas estruturas cognitivas do indivíduo, é necessário que ela seja significativa. Ao lançar mão desta premissa, Ausubel sugere a necessidade de que se defina a aprendizagem significativa e seu oposto, a aprendizagem não significativa.

Segundo Ausubel *et al.* (1978), a aprendizagem para ser significativa necessita de alguns pontos em particular tais como: o aluno deve estar motivado, interessado em aprender o conteúdo apresentado; que o material seja potencialmente significativo e que o aluno possua os subsunçores necessários para aprender o conteúdo.

Os subsunçores são um conceito cunhado por Ausubel para representar o conhecimento prévio que o aluno possui sobre um dado conteúdo e que está presente em suas estruturas cognitivas. De acordo com a teoria da aprendizagem significativa, se os subsunçores necessários à aprendizagem de um novo conteúdo estiverem presentes nas estruturas cognitivas do indivíduo, a conexão entre este subsunçor e o novo conteúdo assimilado pelo aluno poderá ocorrer de forma bastante “forte”, ou seja, a conexão entre estes elementos não será apenas uma ligação “fraca” oriunda tipicamente da memorização e da aprendizagem mecânica.

Dentre as possibilidades que antecedem à aprendizagem significativa existem segundo Ausubel *et al.* (1978): a aprendizagem representacional, aprendizagem de conceitos e aprendizagem proposicional.

- ✓ **Aprendizagem representacional** trata-se apenas da atribuição de significado a símbolos.
- ✓ **A aprendizagem de conceitos** é aquela que utiliza os atributos em comum para categorizar ou classificar os objetos.
- ✓ **A aprendizagem proposicional** é aquela que transcende à representacional no sentido de que ultrapassa a simples soma de significados, e alcança o

entendimento da proposição que é formada pelos conceitos e significados que a compõem.

Mesmo fazendo a diferenciação entre estes três tipos de aprendizagem, ainda assim não é possível diferenciar uma aprendizagem significativa de uma aprendizagem não significativa. Isto se deve ao fato de que, os aprendizes conseguem memorizar símbolos, conceitos, proposições e até mesmo solução de problemas.

Para superar este inconveniente de simulação da aprendizagem significativa por parte dos aprendizes, pode-se utilizar alguns artifícios como o de formular de maneira diferente da apresentada durante a exposição os questionamentos, por parte dos alunos, dos principais conceitos envolvidos. De forma análoga, a utilização de problemas não apresentados durante a etapa de exposição permite ao professor verificar a capacidade do aprendiz em solucioná-los fazendo uso da generalização e extensão do que foi aprendido, o qual constitui-se em um dos indícios da verdadeira aprendizagem significativa.

Para que se entenda, razoavelmente, como ocorre o processo de assimilação durante a aprendizagem significativa pode-se recorrer ao esquema apresentado por Moreira (2006):

Passa pela idéia de que uma nova informação que possui potencial de significado é apresentada e logo relacionada a um dado subsunçor já existente na estrutura cognitiva, o que ocorre é o produto desta interação que dá origem a um novo complemento de informação modificada e estrutura cognitiva modificada. Ou seja, tanto a informação nova muda quanto o subsunçor muda passando a ser mais abrangente e mais forte podendo ser utilizado para um conjunto maior de novas informações.

Isto pode ser resumido e expresso pela seguinte proposição:

O conceito $a \rightarrow a'$ sempre que entre em contato com o seu correspondente subsunçor A , este também se torna A' , logo $a \rightarrow a'$. $A \rightarrow a'$. A' .

Ausubel ao conceber a aprendizagem significativa destacou o que ocorre após o processo de assimilação, que consiste na chamada assimilação obliteradora. Tanto subsunçor quanto o conceito se modificam durante a assimilação e tornam-se uma só coisa, fazendo com que o aprendiz perca a capacidade de diferenciar o particular. A estrutura cognitiva é modificada de tal maneira que o que se retém acaba sendo o conceito mais geral, e o conceito anterior, mais particular, passa a ser um caso específico do geral. Este fenômeno pode ser representado pela Figura 3.

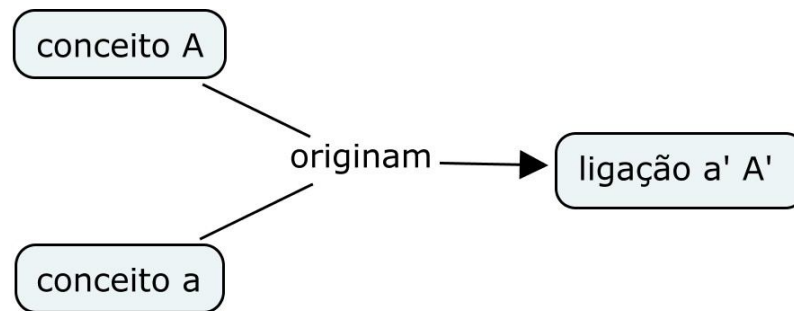


Figura 3. Representação gráfica do processo de assimilação obliteradora.

Pensando em termos de avaliação de aprendizagem, isso determina a necessidade de formular os questionamentos tomando como base os conceitos mais gerais para que se verifique a relação destes com os casos particulares e não somente a verificação dos conceitos mais específicos, pois estes ao passar pelo processo de assimilação obliteradora deformam o que foi exposto. Desta forma, testes de verificação que confrontam a resposta do aluno com a resposta do professor são desaconselhados, pois apenas buscam testar a capacidade de memorização do aprendiz nos conceitos particulares e não o entendimento dos conceitos mais gerais que se formam em suas estruturas cognitivas.

Neste ponto, é inevitável o surgimento da pergunta: como é possível neutralizar o efeito da assimilação obliteradora? A resposta a esta pergunta é que este efeito não deve ser neutralizado, mas sim explorado. O professor deve reestruturar os seus métodos de ensino e avaliação considerando o efeito da assimilação obliteradora, dando enfoque na verificação dos conceitos mais gerais, suas relações e a capacidade de generalização e extensão que tanto indicam o aparecimento da aprendizagem significativa.

Para Ausubel, a aprendizagem pode se manifestar de formas distintas, tanto por descoberta como por recepção. Esta última sendo caracterizada como aprendizagem receptiva. Ele destaca, ainda, que o fato de a aprendizagem se manifestar pela recepção não a impede de ser significativa. A aprendizagem receptiva é então aquela na qual a assimilação dos conceitos se dá, geralmente, por meio de aula expositiva.

Segundo Pelizzari *et al.* (2002) existem dois eixos que se estabelecem dentro da teoria da aprendizagem significativa. O primeiro eixo consiste na relação do conteúdo que é formulado para o aluno e os tipos de aprendizagem por descoberta e receptiva. Quanto mais os conteúdos estão estruturados de forma não completa e acabada mais se aproximam do

tipo de aprendizagem por descoberta. De outra forma, quanto mais acabados, terminados, completos estão os conteúdos mais se aproximam da aprendizagem receptiva.

A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel contempla as duas extremidades deste eixo no sentido de que tanto a aprendizagem por descoberta quanto a aprendizagem receptiva podem ser significativas, desde que sejam atendidas as condições necessárias para que ela ocorra: aluno motivado, material potencialmente significativo e existência de subsunções adequadas.

Analisando a teoria de Piaget e a teoria de Ausubel, ambos concordam que o processo que ocorre durante a aprendizagem é dinâmico e se constrói a partir de constantes modificações nas estruturas cognitivas do aprendiz. A diferença está no foco. Piaget estudou o desenvolvimento das estruturas cognitivas do indivíduo em sua gênese, ou seja, no momento da formação, e Ausubel estudou o processo de aprendizagem em indivíduos considerando-os desenvolvidos completamente em termos de estágios de Piaget. A aprendizagem significativa era o objeto de pesquisa e investigação de Ausubel, ou seja, o que ocorre quando um aprendiz aprende de forma significativa.

Segundo Ausubel *et al.* (1978), a aprendizagem significativa pode ainda estar estruturada a partir das possíveis situações nas quais os conceitos são incorporados pelos subsunções e também o inverso, dando origem ao mapa conceitual, desenvolvido neste trabalho e que é mostrado na Figura 4.

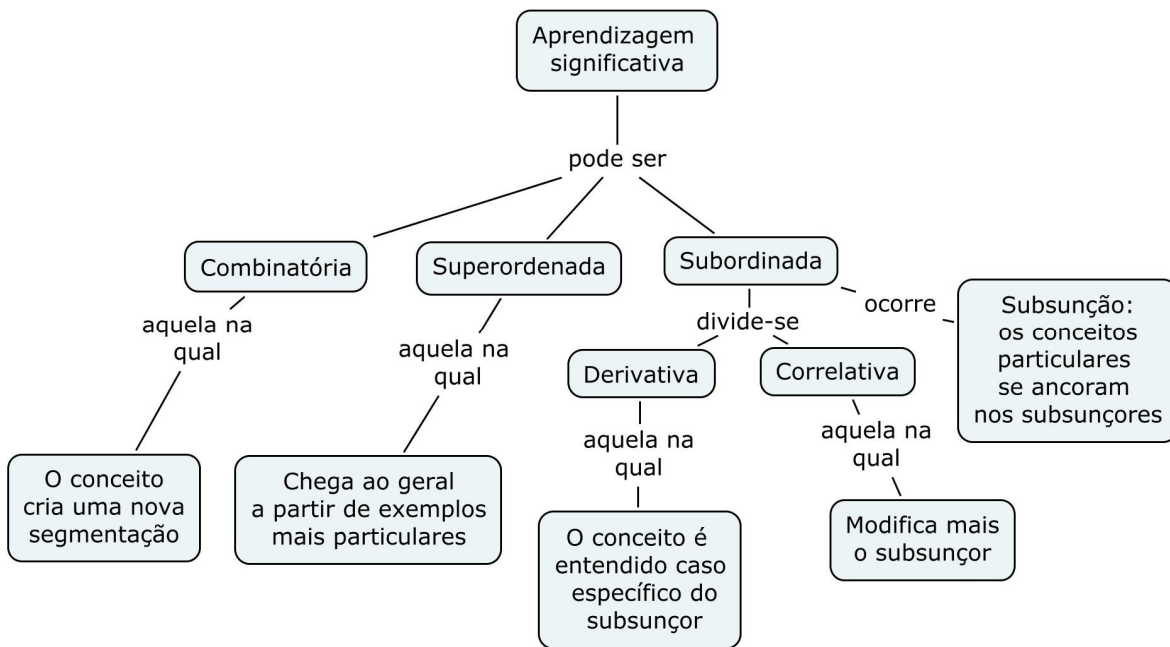


Figura 4. Mapa conceitual da teoria da aprendizagem significativa.

Analisando o mapa conceitual da Figura 4, pode-se perceber que a aprendizagem significativa pode se estruturar de forma hierarquizada e se desdobra em possíveis tipos de aprendizagem dependendo de como o novo conceito apresentado se associa às estruturas cognitivas do aprendiz.

Em um primeiro nível de hierarquia, a aprendizagem pode se apresentar como subordinada, superordenada e combinatória.

A definição aprendizagem subordinada converge para a definição de subsunção a qual é considerada como uma espécie de subordinação dos novos conceitos apresentados às ideias mais gerais e inclusivas já presentes nas estruturas cognitivas do indivíduo, que são os subsunçores.

Aprendizagem superordenada é aquela na qual o indivíduo chega a uma ideia mais geral a partir de exemplos particulares que ele já possui em suas estruturas cognitivas. Ou seja, o indivíduo possui vários subsunçores que são bastante particulares e “fracos”. Em um dado momento, ele é apresentado a um conceito mais geral, logo ele entende que os subsunçores é que estão subordinados a este novo conceito, e não o contrário. É semelhante ao raciocínio por indução.

A aprendizagem combinatória é aquela na qual não há um conceito, mas uma idéia bastante geral, que não pode ser assimilada por nenhum subsunçor. Essa nova ideia também não é capaz de assimilar os subsunçores existentes, logo; origina-se, então, a aprendizagem combinatória. A aprendizagem combinatória é uma combinação de proposições já existentes nas estruturas cognitivas do indivíduo, constituindo-se, assim, em uma derivação nesta rede de conceitos.

Ainda sobre a aprendizagem subordinada, esta pode se apresentar como derivativa ou correlativa. Na primeira, os efeitos da assimilação obliteradora ocorrem mais rápidos, ou o conceito é rapidamente “esquecido” na sua particularidade. O novo conceito ou material é entendido como um caso específico de algum subsunçor existente, mas a conexão com este é “fraca” e não o modifica de forma significativa.

A segunda é aquela na qual o conceito não é imediatamente assimilado pelos subsunçores, sendo entendido como uma extensão, modificação e elaboração deste. A diferença entre as duas é que os atributos criteriosais do subsunçor não mudam no caso da derivativa, já na correlativa eles se modificam.

No que tange aos processos que ocorrem nestes tipos de aprendizagem, destaca-se a diferenciação progressiva. Trata-se de um processo contínuo de constantes modificações nos subsunçores devido à aprendizagem subordinada correlativa, pois esta é a que mais força a modificação dos subsunçores.

A reconciliação integrativa está ligada com as formas de aprendizagem superordenada e combinatória. Trata-se do processo contínuo de modificação das estruturas já existentes no que tange a significados destas se alterando a partir da descoberta do relacionamento entre as mesmas.

Carvalho *et al.* (2001) apresentam a aprendizagem significativa no ensino de engenharia. Destacam a relevância da mudança no processo de ensino-aprendizagem na engenharia e consideram a aprendizagem significativa parte integrante desta mudança, pois propicia a formação de conceitos ao longo do tempo e permite ao aluno relacionar tudo que aprende durante sua formação em uma rede de conceitos.

Segundo os autores, a aprendizagem significativa poderia ser utilizada com êxito na engenharia em função de sua aderência com a forma com que, atualmente, a aprendizagem

ocorre nesse nível de formação. Por parte do professor, este deve identificar quais os conteúdos que o aluno já conhece e sempre buscar, nas aulas expositivas, fazer associações entre os conceitos pré-existentes dos alunos com o novo conteúdo a ser assimilado.

Segundo Carvalho *et al.* (2001):

Em Engenharia, é extremamente importante que o aluno possa vivenciar situações reais, onde ele possa tomar decisões sobre assuntos importantes, em ambiente controlado. Com o uso dos mapas conceituais e a teoria da aprendizagem significativa não existe consolidação do conhecimento sem a experiência na vida real. Esses são recursos que auxiliam o professor a não perder seus objetivos e ajustá-los de acordo com o desenvolvimento do aluno, tornando o ensino eficaz.

A importância da experimentação da aprendizagem prática, e por muitos associada à descoberta, é ratificada pela citação anterior. Oportunamente, neste trabalho, é proposta uma plataforma tecnológica para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem em controle e automação, de forma que o aluno possa vivenciar situações próximas à sua realidade profissional, favorecendo à consolidação de conceitos e aprendizagem significativa.

Segundo Pelizzari *et al.* (2002) existem dois eixos que se estabelecem dentro da teoria da aprendizagem significativa. O primeiro eixo é sobre a relação do conteúdo que é formulado para o aluno e os tipos de aprendizagem por descoberta e receptiva. Quanto mais os conteúdos estão estruturados de forma não completa e acabada mais se aproximam do tipo de aprendizagem por descoberta. De outra forma, quanto mais acabados, terminados, completos estão os conteúdos mais se aproximam da aprendizagem receptiva.

Os autores apresentam, ainda, outro eixo que se estabelece entre o tipo de aprendizagem significativa ou mecânica e a conexão do conteúdo com algum conhecimento prévio do aluno. Quanto mais o novo conteúdo se relaciona de maneira substancial e não arbitrária a algo da estrutura cognitiva prévia, mais significativa é a aprendizagem. Quando o novo conteúdo não apresenta este tipo de ligação mais se aproxima da aprendizagem mecânica. Uma relação não substantiva e arbitrária só pode ser detectada pelo especialista do tema em questão, na maioria das vezes, o professor.

A apresentação destes eixos destaca, de maneira bastante consistente, como um conteúdo ou prática docente pode transitar da aprendizagem puramente mecânica para a

aprendizagem verdadeiramente significativa e como os elementos dessas duas formas de aprendizagem se caracterizam em ambas as situações.

Tanto para Pelizzari *et al.* (2002) quanto para Moreira (2006) o modelo educacional deve se adaptar para que não se concentre apenas no saber, mas, no saber fazer, para que não se concentre apenas em aprender, mas no aprender a aprender.

Um modelo educacional que considera de forma mais predominante a interação do indivíduo com o objeto de estudo, permitindo a ele momentos de expressão e representação de seu conhecimento, favorece o desenvolvimento do saber fazer e do saber aprender.

No fundo, estamos discutindo a questão da escolha entre ter ou ser. Para se ter algo pouco se exige de energia interna ou emocional, basta se pagar o preço estipulado. Para ser de determinada maneira é necessária uma estruturação interna, uma disposição de mudança. (TAVARES, 2004).

A partir da fala do autor, pode-se entender que a diferenciação entre aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa traça uma linha que opera não só no nível da aprendizagem de conteúdos, mas sim na estruturação cognitiva do indivíduo, influenciando diretamente no modo de ser de um indivíduo. Em longo prazo, essa mudança pode trazer a mudança de formação tão requisitada nos últimos anos para o profissional de engenharia.

Uma animação se caracteriza por mostrar a evolução temporal de um dado evento e se presta de maneira exuberante para a exposição de fenômenos que se apresentam intrincados para aqueles alunos que não têm uma percepção visual aguçada ou uma capacidade de abstração sofisticada. (TAVARES, 2004).

A utilização de simulação como organizador prévio pode se apresentar como um fator importante não só por conter os requisitos para ser uma ferramenta a ser utilizada como organizador prévio, tais como, nível de abstração inferior ao necessário para o conteúdo principal, além de conexão e estímulo dos subsunçores necessários ao conteúdo principal, mas também por servir como fator motivacional para o desenvolvimento da aprendizagem significativa, por ser uma forma de organização do conteúdo que foge aos padrões utilizados no modelo tradicional para o ensino de engenharia.

A TAS tem sido utilizada nos últimos anos em trabalhos como teoria da aprendizagem base em trabalhos científicos relacionados com a educação. Nesses trabalhos, o que se deseja é verificar o êxito de alguma ferramenta tecnológica ou prática docente em propiciar o surgimento da aprendizagem significativa no aluno. Podem-se destacar, nesta categoria, os trabalhos de Gonçalves (2005) e Almeida (2006).

Gonçalves (2005) utiliza, como recursos complementares às aulas expositivas e demonstrativas, vídeos, animações e simulações em uma turma de alunos do ensino médio para promover a aprendizagem significativa referente ao conteúdo de física térmica. Um objeto de aprendizagem na forma de hipertexto contendo vídeos, simulações e animações foi disponibilizado aos alunos e um experimento didático-pedagógico com um grupo experimental que teve acesso ao material e um grupo de controle que foi submetido apenas ao método tradicional com aulas expositivas e demonstrativas. Testes estatísticos foram realizados sobre o ponto de vista do desempenho do aluno nas provas. Questionários de avaliação foram aplicados aos alunos e evidenciaram que o material multimídia utilizado provocou uma mudança positiva na motivação dos alunos e que pode ter sido fundamental para o resultados estatísticos apresentados, nos quais o grupo experimental obteve melhor desempenho.

O trabalho de Gonçalves (2005) apresenta uma investigação da eficiência de recursos tecnológicos de simulação, animação e vídeos para promover a aprendizagem significativa. O trabalho peca pela ausência de análise qualitativa mais profunda e pela superficialidade ao apresentar apenas resultados de testes estatísticos sobre o desempenho do educando. O desempenho do educando pode em nada ter sido modificado pela “motivação” por ele enunciada. Como saber se o fato de ter sido exposto ao material instrucional diferenciado é que provocou o êxito nas provas de desempenho? A natureza tanto do pré-teste quanto do pós-teste é de cunho voltado para o resultado final do processo de ensino-aprendizagem e limitado à avaliação de acertos e erros em apenas um dia de verificação. Tal metodologia acaba por responsabilizar de forma majoritária o desempenho do aluno no dia em que os testes foram realizados e desconsidera o processo de construção do conhecimento e a evolução dinâmica do aluno ao longo das aulas. Além de apresentar pouca oportunidade de manifestação espontânea por parte do aluno no que diz respeito ao seu próprio desempenho cognitivo na realização das atividades e tarefas durante o semestre.

Almeida (2006) utiliza os mapas conceituais como instrumentos facilitadores da aprendizagem significativa relativa a conceitos de óptica. O trabalho foi realizado com alunos do curso de graduação em Física da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Os mapas conceituais foram utilizados tanto como instrumentos para a promoção da aprendizagem significativa relativa ao conteúdo exposto, mas também como, forma de facilitar o processo de ensino-aprendizagem de óptica na física.

O trabalho de Almeida (2006) possui uma forte relação com este trabalho pelo fato de utilizar-se dos mapas conceituais para a verificação da aprendizagem significativa. Um ponto de diferenciação além do campo de aplicação é a limitação do trabalho à investigação da aprendizagem receptiva, uma vez que não apresenta resultados e conclusões sobre a exposição dos alunos à solução de problemas não apresentados nas aulas expositivas. A investigação deste outro aspecto potencializa a pesquisa no sentido de que investiga também a aprendizagem por descoberta, além da aprendizagem receptiva.

Rissoli (2007) apresenta uma proposta de acompanhamento personalizado para a aprendizagem significativa fazendo uso de um assistente virtual de ensino inteligente, o qual consiste na aplicação de um assistente de ensino baseado em inteligência artificial, especificamente no ensino de programação computacional em um curso de graduação em informática. Mapas conceituais são utilizados para a modelagem do conteúdo na base de domínio do assistente de ensino, testes estatísticos foram utilizados para avaliar o desempenho dos alunos que utilizaram esta ferramenta.

Tal como no trabalho de Gonçalves (2005) a avaliação da aprendizagem significativa deste trabalho limita-se à verificação do desempenho dos alunos em testes de conhecimento sobre o conteúdo estudado. O sistema tutor inteligente e a metodologia do trabalho de Rissoli (2007) não favorecem a manifestação do indivíduo sobre o seu próprio desenvolvimento cognitivo e seu processo de aprendizagem. Situações-problema não estão bem destacadas durante a utilização da ferramenta tecnológica proposta e não fica clara a relação entre a utilização da ferramenta e a melhoria do desempenho do aluno. Talvez, uma metodologia mais focada no processo de aprendizagem e na evolução do educando ao longo do período analisado possa fornecer melhores indícios da manifestação da

aprendizagem significativa. O trabalho ora proposto pretende, com sua metodologia baseada na avaliação mediadora, suprir esta deficiência.

Almeida e Fontanini (2010) realizam uma investigação da aprendizagem significativa utilizando mapas conceituais em uma turma de alunos do curso superior de tecnologia em Manutenção Mecânica nas disciplinas de cálculo dos primeiros períodos do curso. Definiram elementos da aprendizagem significativa para posterior identificação desses elementos nos mapas conceituais elaborados pelos alunos. Dentre os elementos investigados destacam-se a diferenciação progressiva, reconciliação integradora e modificação de subsunçores. As atividades realizadas para a construção dos mapas estão relacionadas com o processo de modelagem matemática de sistemas; uma competência requerida em virtualmente todos os cursos de engenharia. Os mapas foram construídos pelos alunos inicialmente manuscritos e depois com o auxílio de software de edição de apresentações. O estudo discorre na forma de estudo de caso analisando alguns mapas particularmente relevantes no contexto da pesquisa.

Os resultados do trabalho são apresentados de forma gráfica como um extrato da análise dos mapas. Todavia, essa análise apesar de se basear em elementos subjetivos da TAS, identificados nos mapas conceituais dos alunos, a apresentação do resultado limita-se a apresentar, de forma numérica, a presença destes elementos. A abordagem utilizada é de natureza quantitativa no que diz respeito aos elementos, verificando a evolução dos mapas no que tange ao número, por exemplo, de elementos de diferenciação progressiva realizados. Nesse ponto, cabe um questionamento: é mais importante que ele apresente uma quantidade maior de conexões dessa natureza ou uma maior qualidade dessas conexões? Será a quantidade, realmente, fator determinante de evidências da aprendizagem significativa ou apenas aprendizagem memorística sem capacidade de compreensão e generalização. Essa lacuna permite a inserção de outros instrumentos de pesquisa que possam melhor evidenciar o fenômeno da qualidade da diferenciação progressiva.

No que tange ao elemento “modificação de subsunçores”, foi realizada uma análise dos mapas em diferentes momentos e a partir desta análise, identificou-se a evolução na compreensão do conceito por parte do aluno. A análise realizada para isso não leva em consideração os elementos da aprendizagem significativa, mas sim uma apropriação do domínio que se refere ao tema tratado. Esse fato reflete a necessidade de os mapas

conceituais serem analisados por quem conhece o campo de domínio, aquele que sugere os temas dos mapas, tal como na identificação de subsunçores e na análise de “ligações não substantivas e arbitrárias” como citado por Ausubel *et al.* (1978).

Em determinado ponto da pesquisa, os condutores do processo de pesquisa sugerem aos alunos a reconstrução do mapa, dando ênfase não no problema matemático que origina o tema, mas sim à captura e a estratificação de conceitos relacionados. Esse direcionamento do que se deseja por parte do aluno pode interferir no processo de aprendizagem significativa e sua investigação, pois não é possível discriminar os avanços do aluno em função de sua capacidade de assimilação e amadurecimento das estruturas cognitivas, dos avanços decorridos do ato do professor ao solicitar nova confecção do mapa.

Uma abordagem mais imparcial pode se dar à medida que orientações iniciais são administradas a todo o grupo, tais como: como se constrói um mapa conceitual, em que se deve dar ênfase a quando se constrói um mapa conceitual ou a quais erros não devem ser cometidos na construção de um mapa conceitual; e após essa orientação de procedimentos, os alunos desenvolvem a construção do mapa. A intervenção na prática pedagógica deve ser sempre estimulada, mas para fins de pesquisa. Considerando os mapas como um instrumento de pesquisa, a interferência e a não definição do protocolo permitem pontos de interpretação dúbios nos resultados, quer seja testando uma hipótese, quer seja realizando estudo de caso, bem como se observa a dificuldade na reprodução do experimento. Gomes *et al.* (2010) apresentam uma reflexão teórica sobre a aprendizagem significativa no ensino de ciências. Destacam que a aprendizagem significativa apresenta como base a construção de novo conhecimento a partir de conhecimento prévio, permitindo desta forma a contextualização de novos conhecimentos e atingindo a aprendizagem que permite ao aluno autonomia.

Apresentam como uma das importantes vantagens da utilização da aprendizagem significativa no ensino de ciências, a oportunidade de desenvolver conhecimentos científicos no aluno. Acrescentam que para além da aprendizagem significativa, os alunos atingem, ainda, a mudança de atitudes e habilidades que lhes permitem desenvolver a competência num sentido amplo, o que é requerido nas áreas de formação.

A partir dessa relação, percebe-se que a aprendizagem significativa, quando bem empregada, atinge não somente a compreensão por parte do aluno de determinado

conteúdo, mas também a capacidade de utilizar tal conhecimento para promover a solução de problemas que, porventura, venham encontrar em suas carreiras profissionais. Essa é, sem dúvida, uma questão bastante pertinente não só no ensino de ciências, mas também no ensino de engenharia. É possível um modelo pedagógico pautado na TAS propiciar o desenvolvimento de competências necessárias ao engenheiro nos dias atuais? Este trabalho tem o papel de dar uma singela contribuição ao realizar uma investigação didático-pedagógica para verificar a eficácia de modelo pedagógico com essa fundamentação – MECATAS. Este modelo é apresentado em detalhes no capítulo 4.

Amorim (2011) apresenta um modelo de referência para utilização de aulas multimídia como fator desenvolvidor da aprendizagem significativa; o modelo é chamado de AMAS. Destaca o crescimento das políticas públicas para utilização de tecnologias da informação e comunicação na prática docente e propõe um modelo baseado na aprendizagem significativa e nos mapas conceituais para nortear a melhor utilização de recursos multimídia no ambiente escolar. O modelo AMAS baseia-se na estruturação de um ciclo de aula contendo: 1 – definição de objetivo geral; 2 – planejamento da aula; 3 – ministrar aula; 4 – monitorar alunos; 5 – avaliar aprendizagem e 6 – avaliar aula. Para cada etapa deste ciclo, o modelo AMAS apresenta questões para delinear o planejamento de cada etapa, considerando os repositórios multimídia disponíveis atualmente na *web*.

Apesar de o trabalho de Amorim (2011) propor um modelo de referência baseado na aprendizagem significativa, não fica evidente, no texto, quais as conexões do modelo com a aprendizagem significativa, sendo citada alguma revisão bibliográfica sobre Ausubel, Novak e Gowim, mas na prática não se evidencia nada além disso. A utilização de mapas conceituais é sugerida como elemento de funcionamento do AMAS, mas não é dito pelo autor como serão utilizados; apenas deixa claro que é utilizado pelo professor e não pelo aluno. Destaca-se, portanto, a utilização destes mapas como organizadores de conteúdo e não como instrumentos de avaliação da aprendizagem.

Os trabalhos analisados são apenas um extrato dos muitos trabalhos científicos divulgados recentemente sobre aplicações da TAS no ensino, todavia esses trabalhos concentram-se muito no ensino de ciências no nível fundamental e pouco na engenharia, sobretudo, na engenharia de controle e automação.

Na seção 3.2, é apresentada a fundamentação teórica e trabalhos científicos relacionados à utilização de mapas conceituais como ferramenta na investigação da aprendizagem significativa e como auxílio ao processo de ensino-aprendizagem.

3.2 Mapas conceituais

Os mapas conceituais são uma forma de representação do conhecimento criada por Joseph Novak (NOVAK e CAÑAS, 2006), a partir da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, para representar graficamente o conhecimento presente nas estruturas cognitivas do indivíduo.

Novak desenvolveu esta ferramenta a partir de conceitos presentes na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. A teoria sugere que o conhecimento se organiza nas estruturas cognitivas do indivíduo a partir de ligações entre conceitos, os quais são adquiridos durante a interação entre o indivíduo e o objeto de estudo. Os conceitos, ao se conectarem uns aos outros, estruturam-se de forma hierárquica e os conceitos mais gerais subordinam os mais específicos ou particulares.

A partir dessa representação gráfica da estruturação do conhecimento, uma série de trabalhos e pesquisas se desenvolveu, utilizando os mapas conceituais das mais diferentes formas e aplicando-os aos mais diversos campos do conhecimento. Tipicamente, os trabalhos científicos sobre mapas conceituais os concretizam graficamente a partir de um exemplo muito clássico, qual seja o de um mapa conceitual que explica o que é um mapa conceitual.

Neste trabalho, o mapa conceitual inicial será apresentado, relacionando os conceitos inerentes à organização da pesquisa, ambientando o leitor com as características de um mapa conceitual e, ao mesmo tempo, apresentando a organização da pesquisa. Este mapa pode ser visto na Figura 5.

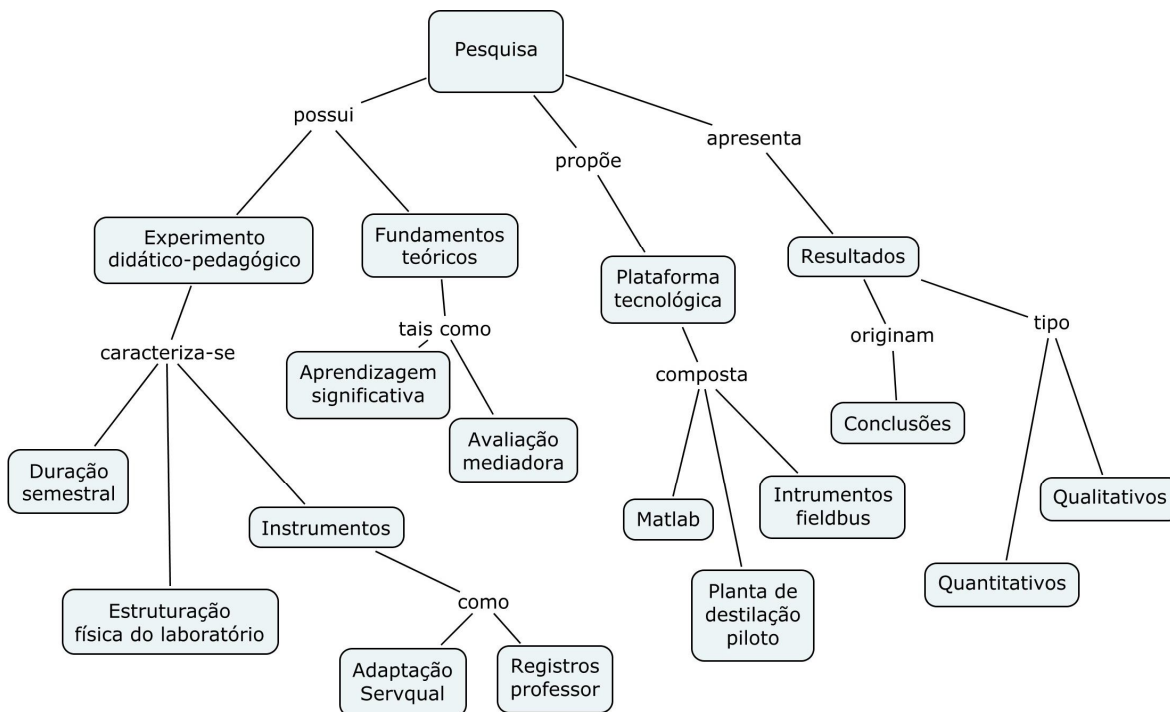


Figura 5. Mapa conceitual sobre a organização da pesquisa.

No mapa conceitual da Figura 5, é possível perceber que os conceitos mais gerais como os conceitos de “Pesquisa”, “Experimento didático-pedagógico”, “aprendizagem significativa” e “avaliação mediadora” ocupam a parte superior do mapa e que os conceitos mais particulares como: “Registros professor”, “Instrumentos fieldbus” e “MATLAB” ocupam a parte inferior do mapa conceitual.

Um aspecto interessante sobre os mapas conceituais é seu potencial de utilização na prática docente. Segundo Moreira (1997) os mapas conceituais podem ser utilizados como:

- ✓ Organizadores de conteúdo em cursos;
- ✓ Estruturação de uma unidade de ensino para uma aula, mostrando relações entre os conceitos envolvidos;
- ✓ Planejamento de currículo;
- ✓ Instrumento de avaliação da aprendizagem.

Neste trabalho, optou-se por utilizar os mapas conceituais como instrumento de avaliação da aprendizagem, de forma dinâmica e evolutiva.

Atualmente, a pesquisa sobre os mapas conceituais é desenvolvida em diversos pontos do mundo, mas seu criador, Joseph Novak, e colaboradores continuam desenvolvendo outros tipos de aplicações e melhorias dos mapas conceituais no IHMC (*Institute for Human and Machine Cognition*), sobre supervisão de Novak e colaboração de Alberto Cañas, criador do *CmapTools* (NOVAK e CAÑAS, 2006), um software que auxilia na construção de mapas conceituais. O software em questão é utilizado neste trabalho para produzir os mapas conceituais apresentados.

Na Figura 6, é apresentado um mapa conceitual sobre as relações entre os principais conceitos da TAS. A aprendizagem significativa foi utilizada como teoria da aprendizagem para o desenvolvimento dos mapas conceituais. Neste trabalho de tese são utilizados para explicá-la.

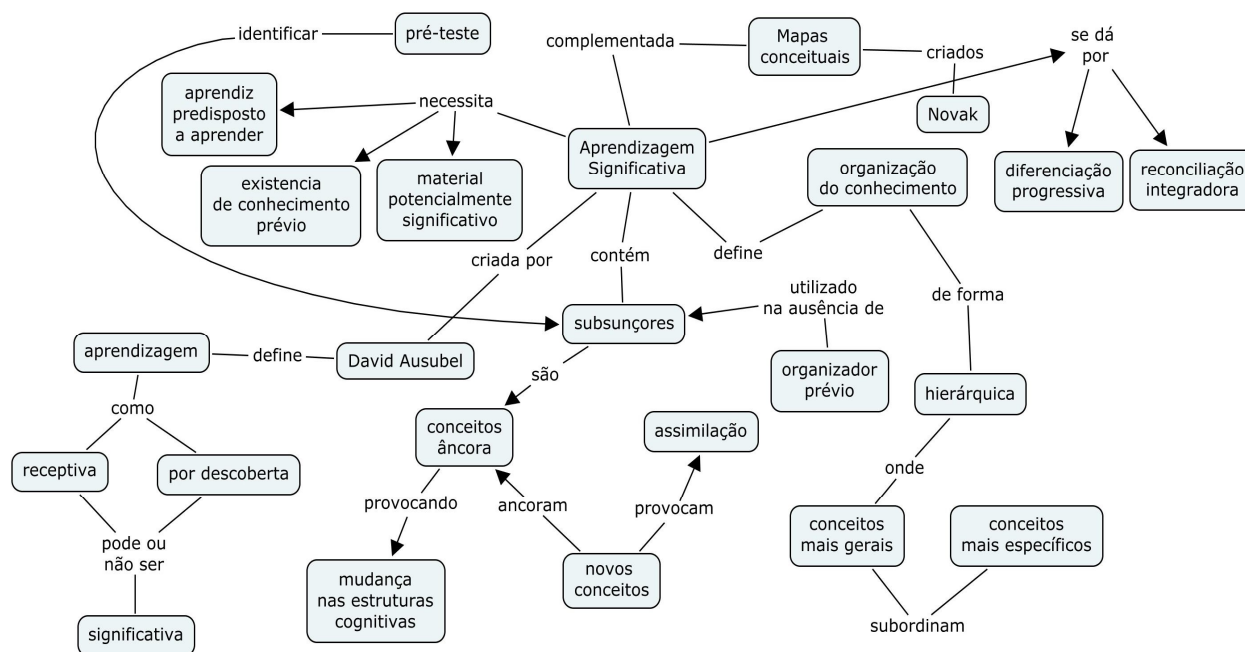


Figura 6. Mapa conceitual da teoria da aprendizagem significativa.

Diversos trabalhos têm utilizado os mapas conceituais de diversas formas e relacionados com a educação e o processo de ensino-aprendizagem. Dentre eles, podem-se destacar os trabalhos de Darmofal *et al.* (2002) e Silveira (2008).

Darmofal *et al.* (2002) apresentam um estudo sobre o uso de mapas conceituais e questões sobre conceitos para aumentar o entendimento de conceitos relativos à engenharia aeroespacial. O curso de engenharia aeroespacial do MIT (Massachusetts Institute of

Technology) se baseia no CDIO (Conception, Design, Implementation and Operation) como modelo pedagógico. Este modelo é baseado no ciclo de vida de um sistema de engenharia.

No trabalho de Damofal *et al.* (2002) os mapas conceituais são utilizados de forma concomitante para potencializar a aprendizagem de conceitos sobre engenharia aeroespacial. Os autores fazem questão de diferenciar a aprendizagem de conceitos sugerida no trabalho de um processo de memorização que ocorre, muitas vezes, em cursos desta área. A aprendizagem de conceitos é verificada quando o aluno consegue extrapolar estes conceitos para diferentes classes e situá-lo em algum esquema de significação prévio. Trata-se de uma abordagem semelhante à aprendizagem significativa de Ausubel, porém não enquadra o fenômeno nas definições propostas por esta teoria.

Silveira (2008) realiza um levantamento de habilidades prévias com alunos do ensino fundamental na disciplina de ciências naturais. Utilizam três provas como instrumentos de pesquisa para o referido estudo sendo que a integridade destes instrumentos é verificada com o coeficiente *alpha* de Cronbach¹. O autor utiliza os resultados deste estudo para verificar a hipótese de que existem alterações significativas na aprendizagem ao se utilizar em mapas conceituais como recurso didático.

Schlemmer e Simão Neto (2008) apresentam uma discussão sobre a utilização dos mapas conceituais e suas aplicações na educação. O trabalho se propõe, inicialmente, a destacar as características particulares dos mapas conceituais na perspectiva original Novakiana, e depois perpassa por suas variações tanto nas questões construtivas quanto nas aplicações dos mapas, elucidando alguns equívocos e subutilizações dos mapas.

As diferentes perspectivas de construção dos mapas conceituais são apresentadas de forma bastante apropriada no trabalho de Schlemmer e Simão Neto (2008), sobretudo as variações de mapas com mais de duas dimensões possibilitadas por hipertexto. Mas, sem dúvida, a grande mudança em termos de mapas conceituais desde a sua criação na perspectiva Novakiana é a possibilidade de quebra da hierarquização dos relacionamentos entre os conceitos, dando origem a um modelo em rede em que não se diferenciam, sob o critério de abrangência, os conceitos.

¹ Alpha de Cronbach é um coeficiente para medição da consistência interna de questionários.

Essa retirada de hierarquia dos conceitos fere a perspectiva Novakiana original e sua motivação a partir da teoria da aprendizagem significativa que define que os conceitos se organizam por diferenciação progressiva e reconciliação integradora. Essa mudança de perspectiva nos mapas conceituais é marcada pela apropriação da ferramenta por adeptos da teoria Piagetiana e como aplicam atualmente os mapas conceituais.

O trabalho de Dutra e Fagundes (2004) apresenta essa nova perspectiva teórica influenciando a construção dos mapas conceituais. Trata-se da utilização dos mapas conceituais na formação de professores a distância. A proposta teórica na qual está galgado o trabalho é a Epistemologia Genética de Piaget mais especificamente as implicações significantes. Esta base teórica é utilizada pelos pesquisadores para análise dos mapas conceituais produzidos pelos professores utilizando o software *Cmap Tools* (NOVAK e CAÑAS, 2006).

Como aspecto positivo do trabalho de Dutra e Fagundes (2004), pode-se destacar a consideração do aspecto dinâmico evolutivo dos mapas conceituais. Ao analisar um mapa inicial e sua versão modificada podem-se realizar inferências sobre a evolução do aluno em seu processo de aprendizagem. A estruturação do mapa, na maioria das vezes, dá-se a partir de um conceito central em torno do qual se desenvolve uma rede de relacionamentos entre os conceitos periféricos.

Vê-se que, na verdade, um mapa conceitual pode ser estruturado de diferentes formas, mas o importante é a base teórica que respalda a sua aplicação e, principalmente, a análise. Neste trabalho, optou-se por utilizar a perspectiva original Novakiana por entender que esta possui maior aderência à situação de aprendizagem investigada, o ensino de engenharia de controle.

Souza e Boruchovitch (2010) apresentam uma pesquisa para investigar a utilização de mapas conceituais como instrumentos para avaliação da aprendizagem. O experimento é realizado em uma turma do curso de pedagogia em uma universidade pública paranaense. A experiência teve como objetivo identificar os elementos facilitadores e limitações da utilização de mapas conceituais como instrumento avaliativo. A coleta de dados se deu por questionário, entrevista e observações sendo os resultados analisados como estudo de caso.

A investigação do trabalho de Souza e Boruchovitch (2010) é basicamente estruturada e analisada qualitativamente sobre situações de aprendizagem mediadas por mapas conceituais no que tange ao processo avaliativo. Durante a pesquisa, foram feitas entrevistas com alunos sobre suas impressões da utilização de mapas conceituais como instrumento avaliativo.

A partir dos relatos dos alunos foi possível perceber que os mapas possuem pontos positivos tais como: identificam as dificuldades de aprendizagem e orientam para aspectos a serem superados; favorecem a reelaboração de conceitos e sua consequente sedimentação, integram e ampliam os conhecimentos; proporcionam *feedback* imediato ou quase imediato; possibilitam a autorregulação; transformam a atividade avaliativa em estratégia de aprendizagem. As dificuldades encontradas quase sempre se referem à utilização dos termos que conectam os conceitos e evidenciam suas relações.

Os resultados foram analisados sob a ótica da autoregulação, que é a capacidade do indivíduo de apresentar evolução ao se deparar com experiências limitadoras e dificuldades, ou seja, o esforço desenvolvido que promove o desenvolvimento cognitivo.

Carvalho *et al.* (2010) apresentam uma investigação da aprendizagem significativa no ensino de engenharia de controle e automação. Para projeto do experimento didático pedagógico foi utilizada a teoria da avaliação mediadora de Jussara Hoffman, na qual o processo avaliativo se distribui ao longo de todo o período de ensino-aprendizagem e é inerente à prática docente. Mapas conceituais foram utilizados como os principais instrumentos de pesquisa.

Os mapas foram construídos pelos alunos utilizando a ferramenta *CmapTools* e analisados sob a luz das teorias envolvidas. Foram consideradas na análise: a evolução na rede de conceitos representada pelos mapas conceituais dos alunos, verificando a presença de elementos como diferenciação progressiva e organização por hierarquização e ramificação; e a distribuição espacial no mapa em seu plano de construção.

Os mapas foram criados pelos alunos em quatro diferentes momentos do semestre letivo e relacionados a assuntos como inteligência artificial, redes neurais artificiais, lógica *fuzzy* e controle avançado de processos. A investigação ocorreu na forma de estudo de casos e os mapas foram analisados qualitativamente com foco particular no processo de evolução dos mapas conceituais por aluno ao longo do semestre.

Diversos outros trabalhos podem endossar a utilização de mapas conceituais como instrumentos avaliativos e forma eficaz de identificar elementos da aprendizagem significativa nas estruturas cognitivas dos estudantes. Os momentos de utilização dos mapas conceituais e a conexão entre eles na prática docente e na investigação da aprendizagem podem ser discutidos como pano de fundo da avaliação mediadora, tópico da seção 3.3.

3.3 Avaliação Mediadora

Tendo em vista a precipitação do modelo instrucionista de ensino, baseado apenas na transmissão e recepção do conhecimento e configurando uma situação na qual o professor é elemento que possui o conhecimento a transmitir e o aluno o elemento a receber esse conhecimento, surge a necessidade de um novo modelo pedagógico que favoreça o desenvolvimento do engenheiro em formação para as demandas atuais do mercado de trabalho.

O modelo de avaliação baseado no confronto entre a resposta do aluno e a resposta do professor estimula apenas a capacidade de memorização do aprendiz e não o desenvolvimento de um profissional crítico, autônomo e capaz de solucionar problemas e “engenheirar” tais soluções.

Partindo da premissa de que o indivíduo está em contínua formação do seu aporte de conhecimentos, habilidades e atitudes; situações que estimulem a montagem destes aportes devem ser criadas e planejadas. Uma prática docente para esse objetivo deve, necessariamente, vir acompanhada de uma metodologia de avaliação que a suporte. Para tanto, a avaliação mediadora de Jussara Hoffmann surge como possibilidade.

Segundo Hoffmann (1994), as características que diferenciam a avaliação mediadora do modelo instrucional de avaliação, chamado por ela de avaliação classificatória, são:

Avaliação classificatória: corrigir tarefas e provas do aluno para verificar respostas certas e erradas e, com base nessa verificação periódica, tomar decisões quanto ao seu aproveitamento escolar, sua aprovação ou reprovação em cada série ou grau do ensino.

Avaliação mediadora: Analisar teoricamente as várias manifestações dos alunos em situação de aprendizagem (verbais ou escritas), para acompanhar as hipóteses que vem formulando a respeito de determinados assuntos, em diferentes áreas de conhecimento, de forma a exercer uma ação educativa que lhes favoreça a descoberta de melhores soluções ou a reformulação de hipóteses preliminarmente formuladas. Acompanhamento esse que visa ao acesso gradativo do aluno a um saber competente na escola e, portanto, sua promoção a outras séries e graus de ensino.

Em um modelo tipicamente instrucionista, no contexto do ensino de engenharia de controle e automação, e este não distante de outras modalidades de engenharia, o professor coloca-se na posição de transmissor do conhecimento, como se o conhecimento pudesse ser transmitido, e o aluno fica na posição de receptor. A ênfase no ensino de fórmulas, técnicas e definições e, conseqüentemente, uma avaliação direcionada para a verificação destes conteúdos é constituída de forma a confrontar as respostas dos alunos com o gabarito do professor e a partir da aderência destas respostas uma nota é atribuída ao aluno. Particularmente, em engenharia de controle e automação, boa parte das disciplinas de controle são desenvolvidas utilizando esta prática docente e esse mecanismo de avaliação, por meio de listas de exercícios intermináveis e reprodução do desenvolvimento padrão para atingir tais objetivos.

Como forma de vincular a teoria de controle, notadamente teórica e baseada em cálculos e procedimentos de solução, utilizam-se com certa frequência laboratórios para o ensino de controle de processos onde os alunos podem ter a oportunidade de aplicar em equipamentos similares a sistemas que encontrarão na prática profissional, os conceitos e métodos adquiridos em aulas expositivas.

Apesar de ser de grande valia esta iniciativa, o problema está no modelo que é adotado por boa parte dos professores dessas disciplinas, que incorporam a mesma forma de ensinar para as aulas práticas em laboratórios. Tipicamente, os alunos não têm a oportunidade de interagir com tais equipamentos com liberdade que necessitam para construir suas próprias estratégias de controle e utilizar métodos heurísticos para o projeto de controladores automáticos de processos. Os equipamentos utilizados nos laboratórios são equipamentos comerciais, que possuem a vantagem de estarem bem próximos da realidade do mercado de trabalho, no que diz respeito ao projeto de controladores dos

alunos, mas estão limitados aos recursos disponíveis em tais equipamentos. Os algoritmos e sistemas de controle são configurados apenas no nível de parametrização de estruturas pré-definidas e ajustes destes parâmetros para valores que são definidos pelos métodos convencionais de projeto de controladores automáticos.

Este tipo de dinâmica nos laboratórios, notadamente, não explora todo o potencial dos recursos disponíveis e também não desenvolve as competências necessárias para um engenheiro de controle e automação. A conexão da teoria com a prática não deve ser apenas na forma de reprodução com êxito de procedimentos propostos pelo professor e roteiros guiados para solução de problemas-padrão. A prática docente em um laboratório de controle e automação deve ser rica em problemas desafiadores para que os alunos, utilizando uma plataforma tecnológica adequada, possam projetar seus sistemas de controle lançando mão de diversos recursos e técnicas não convencionais de projeto, desenvolvimento e otimização de sistemas de controle.

Logicamente, esta nova proposta de prática docente deve vir associada a um modelo de avaliação da aprendizagem e desenvolvimento de competências que valorize a evolução do aluno ao longo do semestre letivo e que seja muito mais focado no processo de construção do conhecimento do que na verificação do desempenho ao final do processo.

Nesse sentido, a avaliação mediadora se apresenta como um modelo de avaliação pertinente, pois foca justamente na avaliação durante o processo de ensino-aprendizagem e não no desempenho do aprendiz ao término deste processo.

Segundo Hoffmann (1994), se entendermos a construção do conhecimento como permanente e sucessiva, a pergunta “por que o aluno não aprende?” acaba se tornando incoerente.

A partir dessa consideração, fica claro que não é possível avaliar o término do processo de ensino-aprendizagem uma vez que o indivíduo nunca termina este processo, e que os limites estabelecidos para as disciplinas em um currículo de engenharia de controle e automação não devem ser entendidos como seus delimitadores.

É com atenção centrada no processo de aprendizagem e fazendo com que ele seja o mais rico possível e que propicie o surgimento da aprendizagem significativa é que se pode

não apenas avaliar, mas guiar o aluno para o objetivo que se deseja para sua formação e que está definido em seu perfil profissional.

Hoffmann (1994) apresenta, ainda, os princípios coerentes da avaliação mediadora, que são:

- ✓ Oportunizar aos alunos muitos momentos de expressar suas ideias;
- ✓ Oportunizar discussão entre os alunos a partir de situações desencadeadoras;
- ✓ Realizar várias tarefas individuais, menores e sucessivas, investigando teoricamente, procurando entender razões para as respostas apresentadas pelos estudantes;
- ✓ Ao invés do certo/errado e da atribuição de pontos, fazer comentários sobre as tarefas dos alunos, auxiliando-os a localizar as dificuldades, oferecendo-lhes oportunidades de descobrir melhores soluções;
- ✓ Transformar os registros de avaliação em anotações significativas sobre o acompanhamento dos alunos em seu processo de construção de conhecimento.

Para permitir a utilização mais precisa dos conceitos da avaliação mediadora, foi desenvolvido um modelo pedagógico que será apresentado no capítulo 4. A prática pedagógica é adaptada para adequação à proposta deste novo modelo, dando origem a um novo roteiro de aulas, ao longo do semestre letivo, com muitas situações de autoria do aluno e avaliação combinada. Os instrumentos de pesquisa utilizados nesta tese convergem com os elementos da prática pedagógica visando a atender aos pressupostos da avaliação mediadora e a conduzir o experimento pedagógico concebido.

4. MECATAS

O modelo pedagógico proposto neste trabalho foi concebido a partir de teorias da aprendizagem como a TAS, os mapas conceituais e a teoria da avaliação mediadora. Sua concepção teve como norteadora a aplicação na prática pedagógica inerente ao curso de engenharia de controle e automação, e como tal, os alunos desse tipo de curso de bacharelado são público alvo ao qual o modelo se destina.

MECATAS foi a sigla escolhida para representar a seguinte proposta: um modelo pedagógico constituído para utilização no processo de ensino-aprendizagem em cursos de engenharia de controle e automação baseado predominantemente na teoria da aprendizagem significativa.

A necessidade da criação deste modelo advém da necessidade de reformulação dos cursos de bacharelado em engenharia de uma forma geral caracterizados por uma formação teórica densa e com predominância de métodos em lugar de conceitos, para um modelo pedagógico mais afeito à análise da produção/autoria do educando e experimentação da prática profissional em protótipos utilizando aparato tecnológico apropriado.

Esse modelo é constituído por três elementos principais: 1 – teorias cognitivas da aprendizagem, para fornecer as bases da construção do modelo e para análise dos resultados; 2 – plataforma tecnológica proposta, para auxiliar os estudantes no desenvolvimento de atividades inerentes à experimentação da prática profissional; 3 – conjunto de elementos de desenvolvimento/avaliação da aprendizagem.

A base teórica selecionada teve como motivação a necessidade de definição de uma teoria da aprendizagem que forneça um entendimento básico de como o conhecimento é organizado, assimilado e generalizado para o público alvo em questão e considerando as seguintes premissas:

- ✓ Análise individual do aluno, desconsiderando a influência das interações com os demais alunos para o desenvolvimento da aprendizagem. Não são objetos de investigação deste trabalho de tese, nem constam na concepção do modelo proposto aspectos relativos às teorias sociais ou cooperativas da aprendizagem;
- ✓ Proposta pedagógica generalista, ou seja, o mesmo modelo é conduzido para todos os alunos participantes, desconsiderando estilos de aprendizagem do educando, por

entender que os processos cognitivos de organização, assimilação e generalização se dão em etapas subsequentes à aquisição pela percepção;

- ✓ Não serão investigados nem considerados no modelo aspectos emocionais ou motivacionais dos estudantes;
- ✓ Os indivíduos que compõem o público alvo do modelo já se encontram com suas estruturas cognitivas completamente desenvolvidas, considerando os estágios de desenvolvimento cognitivo de Piaget (2007). Os alunos, normalmente, matriculados na disciplina possuem mais de vinte e um (21) anos de idade. Piaget sugere que os indivíduos atinjam o estágio operatório formal, aproximadamente, aos quinze anos de idade.

Ao considerar essas premissas e tendo conhecimento do potencial das teorias cognitivas da aprendizagem em definir elementos significantes para investigação experimental, bem como para estimular o processo de aprendizagem, foi selecionada a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel como principal teoria da aprendizagem.

Dentre os elementos presentes nessa teoria, os que serão fortemente considerados no modelo e no experimento são:

- ✓ subsunçores, acessando o conhecimento prévio existente nas estruturas cognitivas do aluno, alcançando de maneira singular os pontos de apoio para o estabelecimento de novas ligações substantivas e não arbitrárias com novos conceitos assimilados;
- ✓ organizadores prévios, criados a partir da identificação dos subsunçores e operando como material potencialmente significativo para utilização na prática pedagógica;
- ✓ processo de assimilação de novos conceitos, para entendimento da evolução dinâmica da rede de conceitos existente nas estruturas cognitivas dos indivíduos;
- ✓ elementos básicos de organização do conhecimento – com base na TAS – como diferenciação progressiva e reconciliação integradora.

A plataforma tecnológica proposta é parte de suma importância neste modelo, dado o seu potencial para experimentação e validação da atividade fim do engenheiro de controle e automação, ou seja, ela auxilia no processo de concepção, projeto e testes de sistemas de controle automáticos. Isso é conseguido, pois ela associa o potencial computacional do

MATLAB® à robustez em termos de validação e experimentação prática dos protótipos de processo industriais como a coluna de destilação piloto (vide seção 4.1).

Para além desses aspectos da TAS, outras teorias foram consideradas na concepção do modelo, sobretudo no que tange ao processo avaliativo. Destacam-se os mapas conceituais que, apesar de serem apenas uma forma de representação do conhecimento, têm forte base teórica pautada na TAS e potencial de utilização vasto dentro do propósito a que se destina.

A teoria da avaliação mediadora, que define a necessidade de avaliar durante o processo de ensino-aprendizagem e não apenas em momentos estanques, foi utilizada na concepção do modelo no que tange ao processo avaliativo. Foram estabelecidos diversos momentos avaliativos na forma de tarefas as quais foram, posteriormente, analisadas sob a luz da TAS para que se detecte sua manifestação e evolução.

É possível perceber que ao contrário da maioria dos modelos pedagógicos vigentes na engenharia, o modelo proposto possui um compromisso formal com a mudança de método avaliativo predominante (focado em desempenho) desde a concepção do modelo até a execução da prática pedagógica.

As tarefas avaliativas ao longo do semestre não substituem por completo as provas objetivas e subjetivas e a análise do desempenho, mas atuam de forma complementar, e neste estudo, possuem importância superior às provas, dadas a sua capacidade de melhor traduzir a construção do conhecimento e a evolução da aprendizagem.

A Figura 7 apresenta o modelo conceitual para modelo pedagógico proposto com seus elementos constituintes.

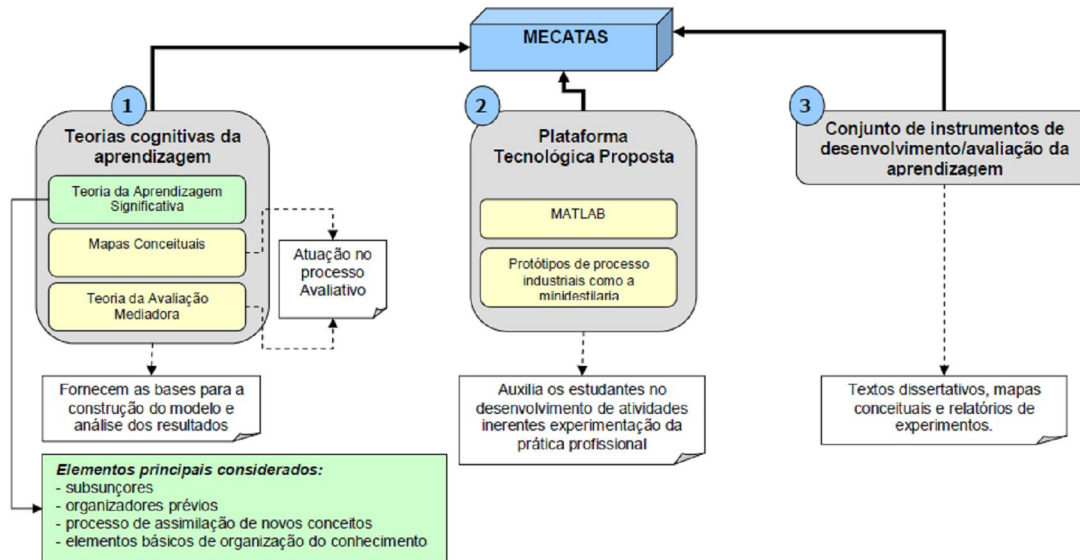


Figura 7. Modelo conceitual do modelo pedagógico proposto.

O MECATAS é a combinação de diversos elementos concebidos e organizados na forma de um modelo pedagógico que venha a propiciar a manifestação e desenvolvimento da aprendizagem significativa por parte dos alunos de controle e automação.

O experimento didático pedagógico foi concebido e desenvolvido com turmas da disciplina de controle avançado, componente do 8º período do curso de engenharia de controle e automação. Apesar disso, o modelo foi concebido de forma a permitir sua utilização em diversas disciplinas do curso, com foco particular nas disciplinas mais ligadas à engenharia de controle a qual se baseia no desenvolvimento de sistemas de controle para controle de plantas e processos, a partir de métodos matemáticos. Podem-se destacar na matriz curricular do ANEXO I as seguintes disciplinas: Fundamentos Matemáticos para Controle, Controle I, Controle II, Laboratório de controle I, Laboratório de controle II e Controle digital.

Cada elemento do modelo pedagógico MECATAS possui um objetivo no processo de ensino-aprendizagem e possui conexão direta com as teorias da aprendizagem que deram suporte para a criação do próprio modelo.

Com um olhar inicial sobre as teorias cognitivas e educacionais envolvidas no modelo pedagógico, essas foram selecionadas pelo potencial que apresentam para desenvolvimento de uma prática pedagógica mais participativa e baseada na autoria do educando sem excluir totalmente as aulas expositivas.

Segundo Ausubel *et al.* (1978) tanto as aulas expositivas quanto as aulas “por descoberta” podem ser significativas ou não significativas para o aluno. O elemento que potencializa mais claramente o surgimento da aprendizagem significativa são os subsunçores. Ausubel disse ainda que é necessário observar o que o aluno sabe para ensinar de acordo.

Essa idade é propícia para o ensino de engenharia, pois na idade e maturidade cognitiva que os alunos se apresentam no curso já possuem capacidade de expressar seu conhecimento de diversas formas.

Podem ser utilizados, por exemplo, os mapas conceituais. Primeiro, ensina-se ao aluno como construir mapas conceituais, sugerindo-se depois um tema relacionado a subsunçores conhecidos da área de conhecimento em questão para que o aluno possa criar um mapa conceitual envolvendo e apresentando os subsunçores que possui.

Todavia, os mapas conceituais não são a única forma nem são exatamente a forma mais completa de representação do conhecimento dos alunos. Desta forma, neste trabalho, a forma de investigar os subsunçores existentes nas estruturas cognitivas dos alunos sobre o tema “controle e automação” constituiu de um questionário composto por questões abertas permitindo o aluno se expressar livremente sobre os questionamentos. ANEXO III.

Uma vez detectados os subsunçores e verificados quais os mais potenciais para possibilitar ligações substantivas e não arbitrárias com os novos conceitos que serão apresentados aos alunos nas aulas expositivas, deve-se estabelecer a melhor forma e conteúdo para a sua utilização.

No ensino de engenharia, existe uma extrema liberdade para que os professores organizem o material que utilizam em suas aulas, e essa liberdade pode ser bem utilizada se houver, por parte do professor, o conhecimento do processo cognitivo de aprendizagem dos alunos. Para montagem do material didático, os professores na engenharia utilizam livros referência, exercícios do tipo solução de problemas, manuscritos, lousa, apostilas e recursos de computação como softwares. Atualmente, utilizam também materiais audiovisuais e recursos multimídia como simulações gráficas e vídeos.

Não é objetivo do modelo pedagógico MECATAS definir quais desses recursos devem ou não ser utilizados para os momentos de aulas expositivas, mas sim destacar que o

processo de assimilação da nova informação será potencial para a aprendizagem significativa se:

- ✓ as informações apresentadas não estiverem totalmente prontas e acabadas;
- ✓ as informações se apoiarem nos subsunçores já identificados.

As interações entre professor e aluno durante as aulas expositivas são comuns e, na verdade, não existe modelo pedagógico que as desconsidere. Pelo contrário, essas manifestações por parte dos alunos sempre apontam para a busca deles pela identificação de pontos nos quais possam se apoiar para que o processo de assimilação ocorra. Apenas para efeito de concepção do modelo MECATAS, não foram realizados experimentos para validá-lo que pautassem seus protocolos considerando essas interações.

A reunião das informações e recursos utilizados pelos professores para compor as aulas expositivas e sua compilação, por exemplo, em um material educacional digital (lâminas de transparência reais ou virtuais) dá-se o nome, conforme visto na TAS, de organizadores prévios.

A utilização desses organizadores faz parte do modelo pedagógico MECATAS e serve para municiar os alunos de subsunçores necessários para o processo de assimilação dos novos conceitos, caso estes subsunçores ainda não estejam bem formados.

Nesse ponto, faz-se necessário destacar a importância do material e da condução da aula expositiva, pois o processo de assimilação será tão bom quanto também for a exposição do novo conceito apoiado nos subsunçores existentes. Intuitivamente, os professores já efetuam essa estratégia de ensino na qual fazem menção a um determinado conhecimento prévio (subsunçor) para proceder com a explicação de um novo conceito a ser assimilado pelo aluno.

O processo de organização dessas novas informações e conceitos pode ser representado por mapas conceituais, os quais podem então ser construídos por solicitação do professor, permitindo uma forma gráfica de representação do conhecimento nas estruturas cognitivas dos alunos.

O processo de constante construção dos mapas conceituais pelos alunos e análise desses mapas pelo professor oportuniza vários momentos conjugados de autoria/avaliação. Esse modelo de prática docente pautado em momentos conjugados de autoria ou produção com a avaliação é um dos pressupostos da avaliação mediadora (HOFFMANN, 1994).

O professor pode por sua vez retornar ao aluno alguma orientação sobre a forma ou o conteúdo do mapa por ele criado, permitindo assim, a correção de possíveis ligações não substantivas ou arbitrárias ou ainda correção de evidências de conceitos mal ou pobremente compreendidos. Os mapas conceituais têm então, junto ao modelo pedagógico MECATAS, papel fundamental no processo avaliativo de forma mediadora permitindo ao professor avaliar a aprendizagem do aluno em diversos momentos ao longo do semestre letivo.

Não apenas por meio dos mapas conceituais, a aprendizagem dos alunos pode ser avaliada, mas por diversas outras tarefas de produções que sejam propostas pelo professor ou propostas pelos alunos. No presente trabalho de tese, optou-se por utilizar em além dos mapas conceituais como tarefas de autoria para os alunos, textos dissertativos a serem produzidos com base em pesquisa em diferentes recursos. Os textos são solicitados com relação a algum tema não tratado em sala de aula para permitir evidências da capacidade de generalização e extrapolação dos conceitos assimilados durante as aulas expositivas.

Os alunos são ainda solicitados a trabalhar na solução de problemas simulados característicos de sua prática profissional como forma de sedimentação dos conceitos assimilados nas aulas expositivas e também como experimentação. Para esse tipo de investigação, é necessária a utilização de recursos tecnológicos mais apropriados e conectados à realidade dos engenheiros de controle e automação.

Uma plataforma tecnológica foi então concebida e implementada para a utilização em testes de sistemas de controle desenvolvidos pelos alunos dentro do contexto da disciplina de controle avançado.

Na seção 4.1, será caracterizada a plataforma tecnológica proposta que foi utilizada para auxiliar os alunos no desenvolvimento de experiências positivas para sua futura prática profissional. A plataforma é utilizada neste trabalho como parte integrante do modelo pedagógico proposto MECATAS.

4.1. A plataforma tecnológica proposta

Em diversos trabalhos científicos são apresentadas propostas de plataformas tecnológicas para auxiliar no ensino de engenharia de controle e automação. Entende-se por

controle de processos, um misto de ciência e tecnologia necessário para a manutenção das variáveis de processos industriais em seus valores ideais de operação. O objetivo desta área de pesquisa é então desenvolver estratégias e algoritmos de controle cada vez mais otimizados para fazer com que as variáveis de processos permaneçam sempre em seus valores de referência (*set-point*).

Como ciência, o controle de processos utiliza-se da engenharia de controle, que desenvolve a partir de métodos analíticos e semi-analíticos sistemas de controle para modelos teóricos e aproximações de sistemas reais, dentre eles os processos industriais. Após o desenvolvimento do sistema de controle, este sistema deve ser testado e validado nos equipamentos que permitam essa implementação. A essa modalidade de dispositivos damos o nome de instrumentação industrial, que possui como objetivo a transmissão dos sinais contendo as informações necessárias para monitoração e controle dos processos industriais.

O trabalho dos engenheiros de controle e automação é então conceber, projetar, simular, implementar e acompanhar o funcionamento dos sistemas de controle. Para auxiliar as etapas de projeto e simulação, são utilizadas ferramentas computacionais específicas para essa finalidade. Atualmente, o software MATLAB/SIMULINK® da MATWORKS® é uma das opções para projeto e simulação computacional de sistemas de controle.

A grande dificuldade que se apresenta no ensino de controle de processos é a distância que existe entre o software para projeto e simulação dos sistemas de controle e os dispositivos tecnológicos que implementam na indústria estes sistemas de controle. Visando a minimizar esta distância, diversas iniciativas têm se desenvolvido no sentido de integrar o MATLAB/SIMULINK® aos processos industriais por meio de sua instrumentação industrial. Desta forma, o engenheiro de controle e automação pode testar seus sistemas de controle desenvolvidos no MATLAB® diretamente no processo ou em um protótipo do processo industrial a ser controlado.

A partir de diversos trabalhos analisados, foi possível desenvolver um quadro sinótico (Quadro 1) condensando as principais características dos trabalhos e como estão enquadrados sob esta caracterização.

Quadro 1. Caracterização dos trabalhos relacionados.

Resumo das plataformas tecnológicas de ensino e experimentação				
Trabalhos relacionados	Proposta educacional	Aspectos pedagógicos	Aspectos tecnológicos	Resultados
Aktan, <i>et al.</i> (1996)	EaD e experimentação remota	Difusão do ensino	Manipulador robótico	Testes de acesso
Liou, <i>et al.</i> (1999)	Experimentação virtual	Acesso à simulação	Simulação no Labview	Testes de acesso
Churms <i>et al.</i> (2000)	EaD e presencial	Seções de ensino	Repositório virtual	Testes de conhecimento
Schmid e Ali (2000)	EaD e experimentação	Autonomia e repositório	Simulação com VRML	Quantitativo de acessos
Coelho <i>et al.</i> (2001)	Presencial	Roteiros e exercícios sugeridos	MATLAB/SIMULINK [®] para sistemas lineares	Desempenho do controlador projetado
Clume e Gomes (2001)	EaD e experimentação	Difusão do ensino	Pêndulo invertido	Testes de acesso
Plett e Schmidt (2001)	Presencial com aulas expositivas	Laboratório interdisciplinar	MATLAB/SIMULINK [®] para controle de um levitador magnético	Quantitativo e qualitativo
Zeilmann (2002)	Experimentação remota	Difusão do ensino	Planta de destilação	Testes de acesso
Murphy <i>et al.</i> (2002)	Experimentação virtual	Acesso à simulação	Sistema de troca térmica no MATLAB/SIMULINK [®]	Testes de acesso
Díez <i>et al.</i> (2002)	Experimentação com <i>webcam</i>	Experimentação e simulação	Motor de corrente contínua	Resultados da simulação
Basilio (2002)	Presencial e repositório	Exercícios e experimentação	Motor de corrente contínua	Processo de projeto de controladores
Srinivasagupta e Joseph (2002)	Experimentação remota	Experimentação e feedback	<i>Feedback</i> visual e por áudio	Testes de acesso
Casini, <i>et al.</i> (2003)	Acesso remoto	Experimentação	Motor, tanque e protótipo de helicóptero	Desempenho do controlador projetado
Duan <i>et al.</i> (2005)	EaD	Exercícios propostos	Proposta de <i>framework</i>	Testes de acesso
Hlava <i>et al.</i> (2005)	EaD e presencial	Experimentos sugeridos	Planta de processo	Testes de acesso
Méndez <i>et al.</i> (2006)	Experimentação virtual	Autonomia e repositório	Interface em Java	Quantitativo da usabilidade
Duarte <i>et al.</i> (2006)	Experimentação presencial	Experimentação	Protocolo OPC e instrumentação <i>fieldbus</i>	Testes de comunicação

Nickerson <i>et al.</i> (2007)	Experimentação e simulação	Estilos cognitivos	<i>Hands-on labs</i> , simulação e acesso remoto	Impressões dos alunos quanto à aceitação
Dormido <i>et al.</i> (2008)	EaD e experimentação	Experimentação	Tanques acoplados	Impressões dos alunos quanto à aceitação
Gambier (2008)	Construtivismo	Ciclo de aprendizagem	Controle digital no MATLAB/SIMULINK®	Sem resultados
Carvalho <i>et al.</i> (2009) Carvalho <i>et al.</i> (2010)	Experimentação presencial	Experimentação pedagógica na forma de solução de problemas propostos	OPC, <i>fieldbus</i> e MATLAB/SIMULINK® Protótipo de uma coluna de destilação	Impressões dos alunos quanto à aceitação Análise qualitativa dos resultados da experimentação

Apesar de não ser objetivo apresentar uma extensa revisão bibliográfica sobre plataformas tecnológicas para ensino de controle de processos, alguns dos trabalhos citados merecem destaque.

Aktan, *et al.* (1996) baseiam-se no paradigma do aprendizado a distância, no qual aluno, professor e equipamento estão geograficamente separados, para desenvolver um laboratório de acesso remoto em tempo real para ensino de engenharia de controle. Todo o aparato implementado permite que os alunos possam desenvolver, compilar e depurar os programas a distância e em um segundo momento, realizar experimentos on-line para controle de um manipulador robótico.

O trabalho de Aktan, *et al.* (1996) é um trabalho pioneiro nas pesquisas de laboratórios remotos (*web labs*) cujo foco é apenas permitir ao usuário a manipulação remota de equipamentos reais. Os aparatos tecnológicos são pormenorizados e destaca-se a importância da utilização desta forma de acesso na difusão do ensino de controle de processos. Todavia, o trabalho não apresenta uma investigação minuciosa dos impactos da utilização dessa plataforma tecnológica na aprendizagem. Neste momento, os laboratórios já são utilizados presencialmente como recurso didático para as aulas práticas de controle de processos. O diferencial desse trabalho é apenas disponibilizar o laboratório para os alunos por meio da *web*.

Zeilmann (2002) apresenta uma proposta de controle, supervisão e monitoramento de processos industriais pela Internet. Apresenta o trabalho sob a luz dos três contextos envolvidos: a planta industrial, o servidor e o cliente. Através da integração de tecnologias web e redes fieldbus, propicia acesso remoto por parte dos usuários aos dispositivos que se comunicam via protocolo *fieldbus*². Apresenta avanço em relação a outros laboratórios remotos pela proximidade entre a planta-piloto utilizada e as encontradas na indústria.

A similaridade do trabalho de Zeilmann (2002) com este trabalho está no fato da utilização de uma planta-piloto que se aproxima da coluna de destilação piloto do Instituto Federal Fluminense, especificamente na tecnologia utilizada para medição e controle das variáveis de processo.

Duan *et al.* (2005) apresentam um *framework* para laboratórios remotos como auxílio em cursos de engenharia de controle. Este *framework* se traduz na prática como uma unidade de ensino para cursos de engenharia de controle, ou seja, cursos que necessitam de prática de laboratório. Aspectos construtivos da plataforma são apresentados e também os experimentos sugeridos para a prática em sala de aula.

O trabalho de Duan *et al.* (2005) congrega um experimento de acesso remoto a laboratório de controle de processos e uma unidade de ensino teórico. A plataforma é construída seguindo padrões internacionais de objetos de aprendizagem, permitindo uma possível integração com repositórios e reutilização desta ferramenta. O trabalho não contempla investigação da importância da ferramenta no ensino, ou seja, apenas propõe um *framework* teórico e computacional, mas não discute os aspectos pedagógicos da plataforma proposta.

Duarte *et al.* (2006) apresentam um trabalho sobre a utilização do MATLAB® no ensino da tecnologia OPC aplicada a controle de processos. A planta de processo utilizada é uma planta didática do fabricante SMAR®, sendo que a integração do MATLAB® com a planta foi realizada apenas na malha de controle de vazão. Os autores destacam a importância da aprendizagem de tecnologias existentes na indústria para a formação do futuro engenheiro de controle e automação, visando a unir teoria e prática.

² Sistema de transmissão de dados em rede para instrumentos de medição e controle na indústria.

O trabalho de Duarte *et al.* (2006) apresenta algumas similaridades no que tange à tecnologia. O software utilizado para interface com o usuário é o MATLAB®, que também possibilita a visualização e atuação na planta de processo por meio do protocolo de comunicação OPC (*Ole for Process Control*).

A diferença básica do trabalho de Duarte *et al.* (2006) para o trabalho ora proposto é a utilização apenas de comandos do MATLAB® para estabelecer a comunicação, visualizar e atuar nas variáveis de processo, enquanto que neste trabalho são utilizadas a manipulação e criação totalmente livres para o aluno, viabilizada pela utilização do MATLAB/SIMULINK®. Com a teoria de blocos e fluxo de sinais, o aluno poderá criar seus sistemas de controle no SIMULINK® e conectá-los ao processo realizando assim a etapa de validação dos seus sistemas de controle desenvolvidos. Outra diferença do trabalho de Duarte *et al.* (2006) é que estes focam apenas na proposta tecnológica da plataforma de ensino, e não contemplam os aspectos pedagógicos desse recurso.

Nickerson *et al.* (2007) propõem um modelo para avaliação da influência de laboratórios remotos e de simulação no processo de ensino-aprendizagem. Destacam as três vias para atender requisitos na formação de um engenheiro que vem sendo utilizadas pelas instituições de ensino.

De um lado, os defensores do uso da simulação para compensar a ausência de laboratórios, do outro os defensores dos laboratórios presenciais (*hands-on labs*) que justificam que sem esses o profissional não adquire experiências reais. Num terceiro caminho, os laboratórios acessados remotamente que economizam tempo e espaço além de ampliar o campo de impacto pela abrangência de um número maior de alunos.

Os autores apresentam um estudo que compara o uso destes três paradigmas verificando a influência destas plataformas no processo de ensino-aprendizagem de máquinas rotativas e mecanismos. Os resultados do estudo piloto sugerem que em ambos os laboratórios desenvolvem competências e habilidades idênticas e o uso dos laboratórios remotos oferecem um entendimento realístico das vantagens deste tipo de laboratórios.

Um experimento didático-pedagógico foi elaborado para captar as impressões dos alunos sobre a utilização dos diferentes tipos de plataformas e também seu desempenho. Um formulário de *feedback* do aluno foi elaborado e aplicado. Teste de desempenho de

aplicação foi utilizado e também média de pontos da grade, medição do estilo cognitivo do aluno. Os questionários de efetividade das plataformas foram elaborados e aplicados aos alunos no sentido de comparar as duas opções definindo qual é mais efetiva.

Diversos instrumentos foram concebidos e aplicados na pesquisa. Por meio destes instrumentos, os pesquisadores conseguiram medir certos aspectos e calcular a influência dos mesmos para os diferentes alunos com seus respectivos estilos de aprendizagem com o coeficiente de correlação.

Ao final do estudo, os resultados sugerem a equivalência em termos de significância dos laboratórios remotos se comparados aos presenciais. Já os testes estatísticos, relacionados aos estilos cognitivos dos alunos, foram considerados não conclusivos.

O trabalho de Nickerson *et al.* (2007) se diferencia deste trabalho de tese em alguns aspectos, em primeiro lugar pela consideração da teoria dos estilos cognitivos para nortear o experimento didático-pedagógico realizado, e em segundo lugar pela teoria central utilizada ser a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. O experimento desse trabalho é pautado pela comparação de duas diferentes plataformas para o ensino de controle de processos. A influência das plataformas é verificada quase que, exclusivamente, pela aceitação dos alunos, na forma de respostas a questionários fechados. O processo de avaliação é pontual e a evolução dos alunos durante a utilização da plataforma não recebe a atenção devida.

Gambier (2008) apresenta um modelo para o ensino de controle digital utilizando o modelo pedagógico construtivista. Este modelo é composto de três ferramentas pedagógicas: ciclo de aprendizagem, estrutura sanduíche e avaliação de portfólio. Ao longo do trabalho, o autor apresenta como principal contribuição, a utilização de um modelo pedagógico construtivista para o ensino de controle digital, assunto este que dentro da engenharia de controle e automação é sempre tratado de forma instrucionista e mecanicista.

Protótipos de processos são utilizados apenas para realizar a comparação entre os valores encontrados na prática e os valores encontrados em modelos simulados no MATLAB/SIMULINK®. O autor utiliza o paradigma instrucionista para pautar as tarefas e ações durante o curso de controle digital e foca na aprendizagem por recepção, propondo um modelo de aprendizagem para esta etapa. No entanto, não há uma validação, não

chegando, assim, a ter resultados. Deixando, todavia, bem delineado o experimento didático-pedagógico concebido sobre a luz do referencial teórico. Na Figura 8, é apresentado o modelo de aprendizagem proposto.

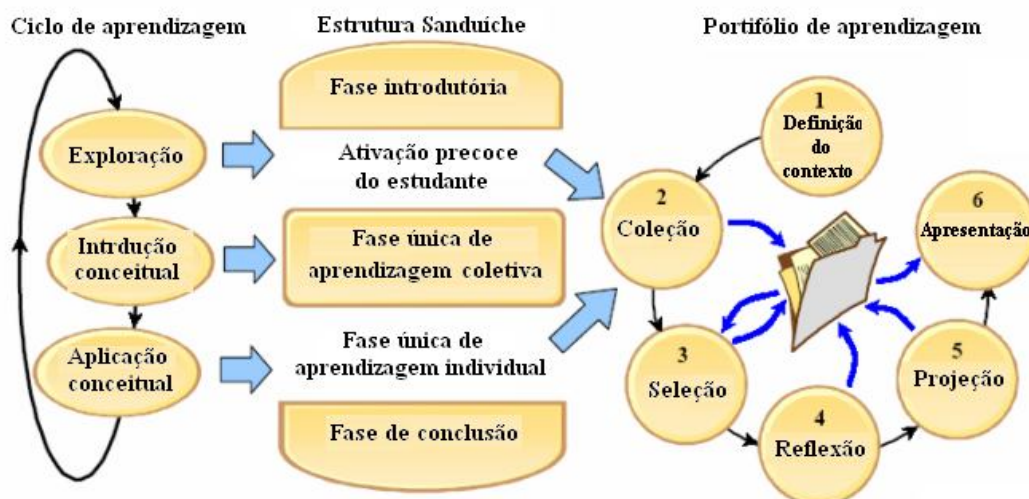


Figura 8. Modelo instrucional para ativação da aprendizagem. (Gambier 2008).

O trabalho de Carvalho *et al.* (2010) possui a fundamentação tecnológica deste trabalho de tese. Apresenta a plataforma tecnológica concebida e um experimento controlado com alunos do curso de engenharia de controle e automação no IFF no semestre letivo de 2009-2.

Esse experimento foi realizado no âmbito da disciplina de controle avançado e organizado como um estudo piloto para a investigação realizada nesta tese. Os instrumentos de pesquisa utilizados foram: o relatório SERVQUAL modificado, que é apresentado na seção 5.2, e os relatos de impressão do professor sobre as tarefas desenvolvidas pelos alunos em sala de aula.

Carvalho *et al.* (2011) apresentam uma investigação pedagógica utilizando mapas conceituais para avaliar a evolução do conhecimento presente nas estruturas cognitivas dos alunos durante os experimentos realizados com a turma de controle avançado de 2010-2 no curso de controle e automação no IFF. Os resultados apresentados nesse trabalho são os resultados parciais obtidos e apresentados neste trabalho de tese.

Partindo desse cenário, é perceptível que há um grande enfoque na verificação da validade da ferramenta apenas na forma quantitativa e com o processo de construção destas plataformas tecnológicas. O propósito deste trabalho é observar a evolução do aluno durante a utilização da ferramenta, o que leva basicamente todo o semestre letivo, lançando mão dos instrumentos de coleta de dados: mapas conceituais, questionário de aceitação da ferramenta e relatórios do professor e dos alunos durante a resolução de problemas.

A formulação de uma plataforma tecnológica para o ensino de engenharia de controle passa pela utilização de recursos computacionais e tecnológicos existentes e disponíveis no laboratório de engenharia de controle e automação industrial do IFF. Estes recursos, ora explorados separadamente, agora passam a integrar um ambiente de projeto, simulação, desenvolvimento e testes para sistemas de controle.

Diferente dos muitos laboratórios acessados remotamente disponíveis em instituições de ensino pelo mundo, o propósito deste laboratório é servir como base para estudos de alunos matriculados em um curso regular e presencial, deixando claro que a intenção deste trabalho não é investigar as vantagens destes laboratórios para educação à distância.

A plataforma concebida é dotada de três elementos constituintes básicos:

- ✓ Sistema real, representado na forma da coluna de destilação piloto;
- ✓ Software de projeto e simulação de sistemas de controle MATLAB/SIMULINK®;
- ✓ Integração do software acima relacionado com o sistema real em questão, através de um sistema de medição e aquisição de dados industrial – *Foundation Fieldbus* (SYSCON®) e os servidores OPC que integram o pacote SYSTEM302 do fabricante SMAR®.

A utilização de softwares proprietários se deve ao fato da não existência de softwares equivalentes para as funções inerentes à aplicação, salientando que todos os softwares utilizados são devidamente licenciados.

4.1.1 A coluna de destilação

Em diversos laboratórios do curso de automação do IFF existem protótipos de plantas e processos industriais. Através de sistemas de medição e aquisição de dados similares aos utilizados em ambiente industrial, estes protótipos permitem aos alunos a

interação com o equipamento e aprendizado de técnicas de identificação e controle de processos que são utilizadas por engenheiros de automação. Dentre os laboratórios existentes, o que mais se aproxima de um processo industrial nos quesitos sistema de instrumentação e capacidade produtiva é a coluna de destilação piloto.

Segundo Crespo (2000), o professor Luiz Paulo Miranda Vaillant do curso técnico de química do IFF, projetou uma coluna de destilação piloto para fins didáticos e, em 1989, como resultado de um intercâmbio entre a Refinaria Nacional de Sal – Sal Cisne – localizada em Cabo Frio – RJ e a instituição, o curso técnico de Instrumentação recebeu como doação a coluna de destilação. Uma imagem da coluna de destilação pode ser vista na Figura 9.



Figura 9. Coluna de destilação piloto.

4.1.2 Integração de softwares de comunicação

Por meio de uma integração entre o SYSCON® e seus servidores OPC instalados, torna-se possível realizar o acesso aos parâmetros dos instrumentos ligados à planta, possibilitando, assim, a medição de variáveis e também atuação em elementos finais de controle como as válvulas de controle de vazão. Essa disponibilidade de dados será utilizada pelo MATLAB® para o último nível de integração para controle da coluna de destilação. A Figura 10 apresenta o esquema de integração utilizado na plataforma tecnológica proposta.

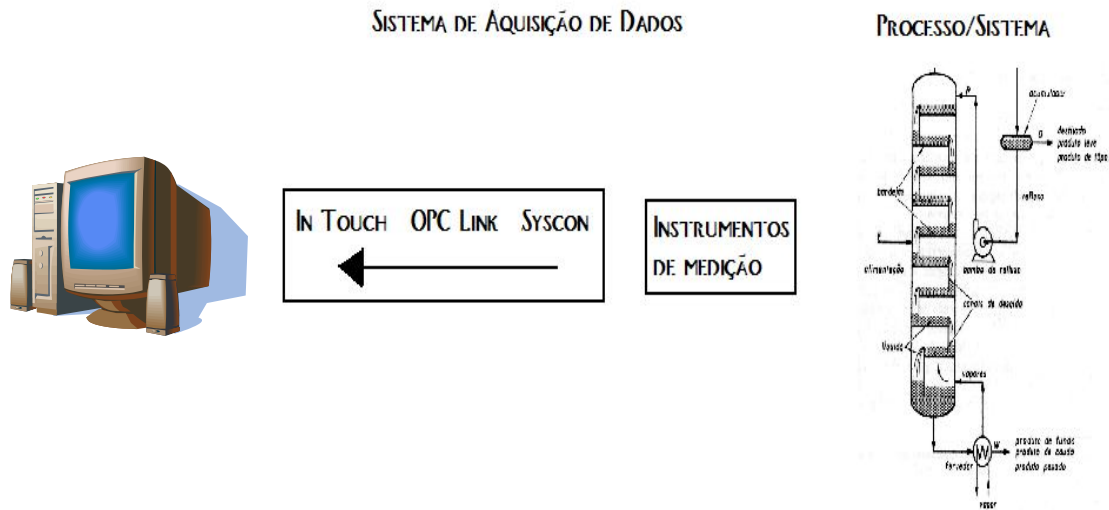


Figura 10. Esquema de integração de sistemas.

4.1.3 O software de projeto e simulação

O MATLAB® é um software que foi concebido, inicialmente, para facilitar a execução de operações com matrizes, ou seja, objetivos matemáticos. Devido a uma grande aceitação por parte de engenheiros, ele passou a conter toolboxes para diversas áreas do conhecimento científico, sobretudo nas engenharias.

Em termos de engenharia de controle, ele possui um ambiente gráfico que trabalha com o conceito de diagrama de blocos e fluxos de sinal para o projeto e simulação de sistemas de controle conhecido como SIMULINK®.

A partir da versão 7, o MATLAB® passou a contar com um *toolbox* específico para comunicação OPC, que é o protocolo de transferência dinâmica de dados mais utilizado na indústria, proporcionando então a integração de um software utilizado exclusivamente para a academia com equipamentos de porte industrial.

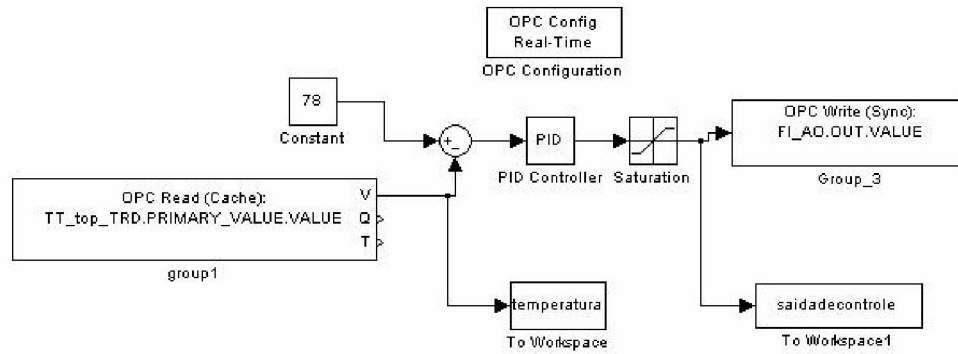


Figura 11. Sistema de controle com comunicação OPC.

A Figura 11 apresenta uma tela do SIMULINK® com um sistema de controle acessando parâmetros dos instrumentos a partir de blocos de comunicação OPC. Por meio desta conexão, o sistema de controle poderá medir as variáveis de processo como nível, pressão e temperatura e atuar em outras, como a vazão de entrada e saída da coluna de destilação. Dependendo do sistema de controle projetado e simulado pelos alunos ao realizarem a comunicação com a planta, testes de desempenho de tais sistemas poderão ser realizados.

Uma vez apresentada a plataforma tecnológica proposta, faz-se necessário caracterizar e detalhar o experimento didático pedagógico concebido bem como apresentar os instrumentos de pesquisa utilizados e seus respectivos protocolos de aplicação durante o semestre letivo nas turmas de controle avançado.

5. O experimento didático pedagógico

Os modelos pedagógicos, para que sejam parcialmente validados, necessitam de uma sistemática apropriada de investigação que deve ir além da simples comparação entre valores numéricos antes e depois da aplicação do modelo, mas sim, que possam captar indícios dos elementos mais relevantes da teoria da aprendizagem utilizada, permitindo mais amplamente, a compreensão dos fenômenos cognitivos envolvidos.

Os métodos objetivos de investigação utilizados em muitos trabalhos científicos, inclusive na pesquisa em educação, são marcados pela tentativa de mensuração de elementos muitas vezes, não quantitativos para que seja possível a análise e mensurado o desvio. Dessa forma, compreendendo a modificação mensurada como efeito causado pela inserção de uma dada metodologia ou ferramenta tecnológica.

Na investigação conduzida para este trabalho, não foi considerada objetivo a identificação numérica de elementos a serem investigados, mas sim se aparecem e de que forma. Esse fato implica a necessidade de investigação científica na forma de estudo de caso, em que não se deseja testar estatisticamente uma hipótese, mas sim tentar responder a uma questão de pesquisa:

“Como o modelo pedagógico proposto propicia a aprendizagem significativa?”

A resposta a esta pergunta pode não ser completamente respondida, mas a tentativa de respondê-la nos leva à investigação na forma de estudo de caso, caracterizada como um experimento didático pedagógico com duração semestral, que foi aplicado em três turmas distintas do curso de Engenharia de Controle e Automação no IFF, nos semestres letivos de 2010-1, 2010-2 e 2011-1, respectivamente com 38, 18 e 21 alunos matriculados na disciplina de controle avançado.

Como não se estabelecem padrões quantitativos razoáveis para mensurar a evolução cognitiva do aluno – e esse não é o propósito dessa pesquisa – optou-se pela definição de elementos a serem percebidos e registrados durante o experimento. Esses elementos estão presentes na TAS, utilizada na concepção do modelo proposto e são: diferenciação progressiva, reconciliação integradora, assimilação, subsunções e generalização.

Da mesma forma que o modelo possui um conjunto de elementos em sua constituição, o experimento se baseia no modelo para que seja possível identificar a eficácia de sua aplicação, utilizando os elementos da TAS para evidenciar a evolução na

aprendizagem significativa. Nesse estudo, entender-se-á aprendizagem uma composição de organização, compreensão e extensão do conhecimento.

Para detectar os elementos de interesse na investigação, bem como fornecer registros palpáveis para análise sob a luz da TAS, foram projetados instrumentos de pesquisa, cada qual com sua função, que podem ser sumarizados na Tabela 1.

Tabela 1. Instrumentos de coleta de dados do experimento didático-pedagógico.

Instrumentos de coleta de dados	
<p>Questionário de levantamento de subsunçores: Dentro da perspectiva da aprendizagem significativa é necessário que o professor realize um levantamento do conhecimento prévio do indivíduo sobre o conteúdo ao qual ele deverá apresentar em aula expositiva, caracterizando a função do organizador prévio.</p>	<p>Questionário SERVQUAL: Parasuraman <i>et al.</i> (1985) apresentaram a metodologia que utilizaram para a criação da escala SERVQUAL. Trata-se de um questionário utilizado para mensurar a lacuna entre expectativa e percepção de um novo método ou tecnologia. Fornece uma representação gráfica que permite identificar a relevância e aceitação do modelo proposto.</p>
<p>Mapas conceituais: A construção destes mapas por parte dos alunos tem por objetivo verificar possíveis equívocos de relacionamento entre conceitos e conteúdos apresentados e direcionar a intervenção do professor para os pontos que requisitam auxílio. Os mapas podem ser discutidos para uma maior verificação do que o aluno estava pensando quando o construiu, embasando o registro de evolução do aluno ou mapa de atividade.</p>	<p>Pesquisa e texto: Trata-se de um instrumento que tem como objetivo principal propiciar ao aluno o ambiente para que este desenvolva o seu conhecimento a partir de algum conteúdo de aula expositiva e ele possa incrementar e generalizar os conceitos adquiridos durante a exposição. Esse instrumento permitirá verificar se o aluno compreendeu os conceitos da exposição a partir da sua capacidade de transportá-los para outras situações, manifestando a aprendizagem por reconciliação integradora.</p>
<p>Solução de problemas: Esse último instrumento tem o intuito de propiciar a manifestação das capacidades do aluno ao se deparar com situações-problema próximas da sua prática profissional. Ao propor que eles resolvam problemas que não foram apresentados durante as aulas expositivas, os aprendizes são estimulados a transportar os conceitos adquiridos para esta nova situação procedendo em generalização e extensão para que possam solucionar a contanto os desafios propostos.</p>	

Da mesma forma que o modelo possui momentos de produção/autoria para que o aluno se desenvolva e aprenda, o experimento possui instrumentos para registrar a produção nesses momentos para posterior análise.

Os instrumentos de pesquisa sumarizados na Tabela 1 devem possuir protocolos de aplicação bem definidos para que se atinjam os seguintes efeitos:

- ✓ Evidência dos elementos de interesse para a análise dos resultados;

- ✓ Reprodutibilidade do experimento;
- ✓ Minimização de influências de tendências nos resultados.

Logicamente, para se estabelecerem da forma como foram planejados, estão pautados nas seguintes premissas:

- ✓ Autonomia do aluno;
- ✓ Dúvidas quanto à forma fazem parte do processo de aprendizagem;
- ✓ Honestidade do aluno com relação à autoria das tarefas;
- ✓ Permissão de interação dos alunos durante a realização da tarefa.

Cabe salientar que o experimento foi conduzido tendo como campo empírico alunos de graduação e que, apesar de não serem estabelecidos mecanismos de controle e verificação da autoria das tarefas, preferiu-se depositar confiança na honestidade do aluno com relação a esse aspecto em função da maturidade dos alunos e pelo simples fato de que a realização das tarefas não era obrigatória. Mesmo com esse parâmetro estabelecido, o retorno dos alunos em termos de quantidade de tarefas realizadas foi considerado bastante positivo para os objetivos deste trabalho e serão apresentados no capítulo de resultados.

O experimento didático pedagógico concebido está pautado nas premissas anteriormente expostas e planejado para atingir os efeitos esperados e destacados também anteriormente. A Tabela 1 resume as funções de cada instrumento de pesquisa escolhido, e os quais se organizam em torno do processo de ensino-aprendizagem.

Em um primeiro momento, pode-se destacar o levantamento de subsunçores como elemento potencialmente relevante no processo de ensino-aprendizagem. Segundo Ausubel *et al.* (1978), possuir subsunçores adequados é condição necessária para a aprendizagem significativa.

5.1 Questionário de levantamento de subsunçores

Para tanto, em um primeiro contato com os alunos no início do semestre letivo, estes são estimulados pelo professor a expor o seu entendimento sobre determinados conceitos relativos a controle e automação necessários para a boa condução do processo de ensino-aprendizagem durante a disciplina de controle avançado.

O que se faz é dar uma orientação geral aos alunos sobre o processo de levantamento de subsunçores no que tange a sua importância e a sua função. Depois é passado para cada estudante um questionário (vide ANEXO III) de levantamento de subsunçores, impresso em papel e composto somente de questões abertas, nas quais os alunos podem expor o que sabem sobre cada um dos conceitos investigados.

Essa tarefa é realizada em sala de aula de forma individual por cada aluno seguindo a orientação do professor para que seja realizada dessa forma. Uma vez realizada a tarefa, os questionários são recolhidos e armazenados. O objetivo de se realizar a tarefa no momento de sala de aula é fazer com que o aluno responda o questionário sem realizar consulta a material educacional, permitindo dessa forma que o aluno estratifique sua compreensão dos conceitos assimilados, tornando mais realista a informação coletada por este instrumento.

Uma vez de posse dos questionários, uma análise é realizada pelo professor para cada aluno identificando elementos de coesão conceitual existentes nas respostas dos alunos. Essa análise só pode ser realizada pelo professor, que é considerado o conhecedor do campo de domínio de controle e automação. Esse é um dos motivos pelos quais os conceitos investigados não são específicos de nenhuma disciplina do curso, mas sim um conjunto de conceitos comuns a essa área de conhecimento.

As respostas são classificadas de 1 a 5 em função do nível de coesão conceitual, sendo esse elemento passível de interpretação pelo especialista da área. Uma vez analisadas as respostas, é possível identificar de forma geral os valores percentuais do entendimento dos alunos de uma turma para os diferentes conceitos do questionário. Pode-se, assim, também identificar de forma mais particular os conceitos mais fortemente assimilados pelos alunos para que se utilize como base para preparação das aulas expositivas e para o material educacional utilizado para que este seja potencialmente significativo, isso se baseia no processo de subsunção que é a base da TAS.

5.2. Questionário SERVQUAL adaptado

Depois de aplicado o questionário de levantamento de subsunçores, é mostrada aos alunos uma aula expositiva da disciplina de controle avançado desde sua importância e

localização no curso de engenharia de controle e automação. Apresentando os objetivos de aprendizagem, ementa, conteúdo programático, referências bibliográficas utilizadas, processo avaliativo e tecnologias utilizadas para auxílio do processo de ensino-aprendizagem. Nesse último ponto, é explanada com maior destaque a plataforma tecnológica proposta neste trabalho.

Após a apresentação dessa aula expositiva, os alunos possuem uma série de expectativas com relação ao desenrolar da disciplina durante o semestre, mas principalmente por um dos componentes de investigação deste trabalho: a plataforma tecnológica proposta.

Neste momento, são entregues aos alunos os questionários SERVQUAL adaptado. Trata-se de um questionário com 10 (dez) afirmações acerca da plataforma tecnológica proposta (vide ANEXO IV), para que o aluno marque dentre as opções de 1 a 7 (Likert 1-7) sua expectativa com relação aquelas afirmações, marcando 1 para discordo fortemente da afirmação proposta e 7 para concordo fortemente com a afirmação proposta.

O intuito da aplicação desse questionário é a identificação da lacuna existente entre expectativa e percepção por parte dos alunos com relação a alguma proposição, neste caso, a plataforma tecnológica. Essa lacuna é evidenciada após a aplicação do segundo questionário SERVQUAL, no qual se aplicam as mesmas afirmações e novamente o aluno pode marcar as opções de 1 a 7, mas dessa vez com o olhar de quem já utilizou a plataforma tecnológica proposta no final do semestre letivo. Essa estratégia está embasada na necessidade de medir a aceitação da ferramenta por parte do público alvo de forma a quantificar aspectos subjetivos como a lacuna entre expectativa e percepção sobre algo.

Essa lacuna pode então ser quantificada e apresentada de forma gráfica permitindo conjecturas sobre cada turma relativas à aceitação da ferramenta.

5.3. Mapas conceituais

Os mapas conceituais são solicitados pelo professor em quatro momentos diferentes, após um conjunto de aulas expositivas e de simulação computacional sobre um tema dentro da ementa de controle avançado. No início do semestre letivo, os alunos assistem a uma apresentação sobre a utilização da ferramenta *CmapTool* e após a apresentação eles interagem com o software para criação de mapas conceituais, explorando as

funcionalidades e criando mapas básicos sobre um tema qualquer. Nesse experimento, foi utilizado o tema “mapa sobre mapas conceituais”.

Os mapas conceituais solicitados são referentes aos conteúdos:

- ✓ Controle avançado – mapa inicial para identificação da organização prévia dos conceitos nas estruturas cognitivas dos alunos;
- ✓ Redes neurais artificiais – mapa para verificação da organização cognitiva em conteúdo curricular intermediário;
- ✓ Lógica e controle *fuzzy* – mapa para verificação dos conceitos avançados do conteúdo;
- ✓ Controle avançado – mapa final para verificação da compreensão dos conceitos ao longo do semestre letivo e organização cognitiva.

Os mapas são solicitados pelo professor em sala de aula após alguma apresentação expositiva do tema do mapa e os alunos têm uma semana para elaborar o mesmo utilizando a ferramenta CmapTool. Depois de realizada a tarefa, os alunos enviam o arquivo de imagem do mapa conceitual (com extensão *.jpg*) para o email do professor.

O professor, por sua vez, faz o *download* dos arquivos e os armazena em disco identificando por nome do aluno e numeração do mapa para posterior análise. Esse processo ocorre nos quatro momentos anteriormente mencionados e os mapas são analisados sob a luz da TAS especialmente na verificação dos elementos que evidenciam a aprendizagem significativa como diferenciação progressiva, reconciliação integradora, ramificação e hierarquização, ligações transversais, compreensão e generalização.

5.4 Pesquisa-texto

O instrumento de pesquisa chamado de pesquisa-texto é também configurado como um momento de produção de autoria do aluno. A construção do texto é solicitada ao aluno após um conjunto de aulas expositivas sobre o tema redes neurais artificiais. O tema é tratado abrangendo diversos aspectos como: histórico das redes neurais, termos e conceitos básicos, algoritmos de treinamento e parâmetros de treinamento.

Mas o aspecto de aplicações de redes neurais é intencionalmente suprimido durante as aulas expositivas de forma a permitir que o aluno construa o texto dissertativo em função de pesquisa realizada em livros, internet e qualquer outra fonte de consulta que deseje investigar como monografias, dissertações e teses.

O professor solicita aos alunos que construam o texto dissertativo com base no seguinte tema: “aplicações de redes neurais artificiais na indústria”. O tema foi selecionado em função da aderência à formação profissional do engenheiro de controle e automação que tem como foco atuar predominantemente em ambiente industrial.

No ANEXO VI, é possível verificar um exemplo desse instrumento produzido pelos alunos. Não existe um padrão ou modelo para a construção do texto, mas os alunos são orientados apenas a produzi-lo na forma de texto dissertativo e em editor de texto disponível nos computadores que venham a utilizar para cumprir a tarefa. O prazo solicitado para a entrega da tarefa é de uma semana e deve ser enviada por e-mail para o professor.

Uma vez recebida a tarefa, o professor realiza as operações de download e arquivamento do documento identificado com o nome do aluno. O que se deseja observar com este instrumento é a capacidade de o aluno generalizar e compreender a partir de conceitos mais elementares do conteúdo, situações de aplicação em sua futura prática profissional. Ao pesquisar o tema proposto, o aluno acessa uma série de informações que devem ser assimiladas e organizadas. O texto dissertativo é uma das formas possíveis de o aluno tornar explícito seu entendimento e organização das informações assimiladas e do conhecimento construído.

O instrumento é analisado com o intuito de detectar trechos no texto que evidenciem sua capacidade de organizar e compreender informações novas adquiridas por meio de pesquisa e não de aula expositiva, bem como a capacidade de generalização de conceitos básicos e mais gerais para casos particulares de aplicação desses em ambiente industrial, ou seja, perceber vantagens, limitações e adequações da teoria quando aplicada à prática.

5.5. Solução de problemas

O instrumento solução de problemas é utilizado para investigar a capacidade do aluno em interagir com a plataforma tecnológica proposta e evidenciar por meio de um relatório a capacidade de organizar o conhecimento adquirido durante os experimentos e testes realizados utilizando o equipamento.

O relatório é solicitado aos alunos tão logo tenham sido finalizadas as aulas expositivas, as aulas de simulação computacional, e demais tarefas dos temas redes neurais artificiais e lógica e controle *fuzzy*. No primeiro experimento, é solicitado ao aluno que realize medições das variáveis existentes na planta de processo piloto (coluna de destilação) em situações operacionais distintas como operação: regime transitório e permanente. Depois de realizadas as medições e registrados em arquivo texto os valores das variáveis os alunos utilizam essa massa de dados para o treinamento de redes neurais artificiais (MATLAB®), obtendo dessa forma um modelo matemático do sistema ajustado a partir de dados coletados do processo.

O relatório deve apresentar os resultados dos testes realizados e as conclusões do aluno acerca da investigação experimental realizada. A partir dessas conclusões realizadas de forma textual no relatório e enviadas por e-mail, o professor poderá realizar análises de como o experimento contribuiu para a evolução cognitiva do aluno no que tange à compreensão de todo o conteúdo estudado.

Cabe, aqui, salientar que este instrumento de pesquisa permite condensar o potencial dos experimentos laboratoriais como forma de sedimentação dos conceitos e informações adquiridas, mas também permite ao aluno vivenciar situações problema inerentes à sua prática profissional como a modelagem de um sistema a ser controlado.

Para o segundo experimento solicitado, o protocolo de pesquisa é similar ao anterior, mas o teste proposto está associado à concepção, projeto, implementação computacional (MATLAB®) e testes de controlador *fuzzy*³ no planta de processo (coluna de destilação).

³ Um controlador de variáveis de processo baseado em lógica *fuzzy*.

Uma vez definidos os protocolos de pesquisa dos instrumentos utilizados no experimento didático pedagógico, faz-se necessário apresentar o modelo conceitual do fluxo de utilização desses instrumentos durante o semestre letivo.

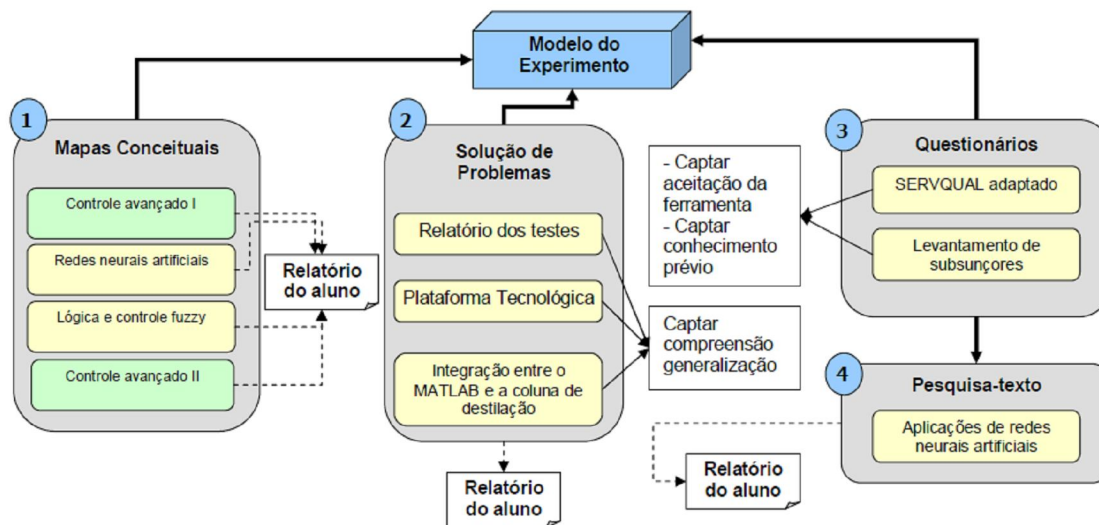


Figura 12. Modelo Conceitual do experimento didático-pedagógico concebido.

O modelo conceitual da Figura 12 é o resumo de como estão organizados os instrumentos de pesquisa no experimento didático-pedagógico e é possível perceber a semelhança com o modelo conceitual do modelo pedagógico apresentado no capítulo 4. Essa semelhança ocorre em função da concepção do experimento pedagógico estar intrinsecamente ligada ao modelo pedagógico, buscando sempre pontos de contato entre os elementos da prática pedagógica e os instrumentos de pesquisa.

6. Resultados

Os resultados da tese estão organizados seguindo a ordem dos instrumentos de pesquisa utilizados no experimento didático-pedagógico e apresentados no capítulo 5. Os resultados são analisados à medida que são apresentados.

Apesar de o experimento ter sido conduzido na modalidade censo, somente alguns instrumentos terão seus resultados apresentados na totalidade dos alunos considerados. Isso se deve ao fato de que em alguns dos instrumentos utilizados os resultados serão analisados na forma de estudo de caso, com alunos sendo selecionados aleatoriamente em cada uma das turmas dos semestres letivos considerados no experimento de forma a compor a análise qualitativa.

Nestes casos, será realizado um recorte na população investigada e estes casos serão analisados, ou seja, os resultados serão analisados na forma de estudo de caso, utilizando como critério de seleção, aqueles que sejam considerados mais ricos em elementos que venham a propiciar discussão da pesquisa.

Os instrumentos mapas conceituais e questionário SERVQUAL adaptado tiveram os seus resultados analisados considerando todos os elementos pesquisados. Os resultados obtidos por estes instrumentos permitem conjecturar sobre a validade do modelo pedagógico, pois possibilitam uma análise do ponto de vista mais amplo como, por exemplo, a predominância dos tipos de mapas conceituais desenvolvidos pelos alunos da turma de 2010-1 ou ainda o desvio entre expectativa e percepção para a plataforma tecnológica utilizada nos experimentos de solução de problemas considerando a turma de 2010-1.

Na seção 6.1, serão apresentados os resultados do instrumento SERVQUAL adaptado. Trata-se da apresentação do desvio entre a expectativa e percepção da utilização da plataforma tecnológica proposta nesta tese por parte dos alunos envolvidos no experimento. Os resultados deste instrumento serão apresentados na forma gráfica considerando todos os alunos pesquisados e os resultados permitem uma leitura geral do nível de percepção das turmas envolvidas no experimento.

Na seção 6.2, são apresentados os resultados obtidos dos questionários aplicados aos alunos para levantamento de subsunçores. Nesse instrumento, é possível apresentar um extrato das respostas dos alunos. As respostas foram analisadas por especialistas

(professores de controle e automação) da temática proposta e a elas foram atribuídos valores de 1 a 5 como forma de mensurar o nível de coesão conceitual apresentado. Além da apresentação dos resultados deste instrumento na forma de extrato gráfico os resultados serão inseridos na análise particular dos alunos selecionados para o estudo de casos.

Na seção 6.3, serão apresentados e analisados os resultados relativos ao instrumento mapas conceituais. Os mapas conceituais permitem ainda uma análise mais particular considerando a evolução cognitiva de um estudante ou de outro, quando da utilização deste instrumento. Dessa forma, a análise dar-se-á também na forma de estudo de casos, considerando um recorte possível.

Na seção 6.4, são apresentados os casos estudados, tendo sido selecionados alunos aleatoriamente nas turmas envolvidas e serão apresentados e analisados os resultados obtidos pelos demais instrumentos de pesquisa apresentados no capítulo 5. Dentre eles, destaca-se o instrumento solução de problemas que foi utilizado para captar evidências da aprendizagem significativa dos alunos acerca de experimentos realizados com auxílio da plataforma tecnológica proposta. Trata-se de um relatório elaborado pelos alunos após realizarem testes de identificação de sistemas utilizando redes neurais artificiais com dados coletados da coluna de destilação piloto por meio da plataforma tecnológica proposta.

Foram realizados também testes de controle de processos utilizando lógica *fuzzy*. E estes controladores foram também testados na coluna de destilação piloto com o auxílio da mesma plataforma. Como o instrumento gera uma massa de relatórios bastante extensa, serão apresentados trechos dos relatórios que foram selecionados como recorte para uma análise qualitativa, utilizando as teorias envolvidas nesta tese. A análise é, portanto, conduzida como estudo de casos.

Ainda na seção 6.4, serão apresentados os resultados relativos ao instrumento pesquisa-texto. Esse instrumento foi aplicado com o intuito de detectar indícios da capacidade de generalização por parte dos alunos.

Os alunos são submetidos à tarefa de pesquisar e elaborar texto dissertativo sobre o tema de redes neurais artificiais e suas aplicações. No momento da solicitação da tarefa, alguma fundamentação teórica sobre redes neurais artificiais já havia sido apresentada nas aulas expositivas, mas não havia sido discutida a aplicação deste paradigma da I.A.

Ao elaborar esse texto dissertativo, o aluno tem a oportunidade de apresentar sua capacidade de generalização do que foi visto em sala de aula para uma situação de aprendizagem externa à sala de aula, bem como ao organizar corretamente as informações pesquisadas, permite que o professor possa analisar essa produção buscando elementos de compreensão e domínio do tema proposto, caracterizando assim elementos importantes da aprendizagem significativa. Esse instrumento será analisado qualitativamente e na forma de estudo de caso.

A análise qualitativa dos instrumentos de forma isolada permite algumas conjecturas e estabelecimento de evidências sobre os casos investigados e selecionados sob a luz da TAS. Algumas relações entre os resultados de instrumentos podem ser realizadas de forma conjunta com o intuito de cotejar o produto desses diferentes mecanismos e permitir uma análise mais geral acerca da aprendizagem significativa também para os casos selecionados.

6.1 Análise dos resultados obtidos pelo instrumento SERVQUAL

Nessa seção, far-se-á uma apresentação dos resultados do instrumento SERVQUAL modificado para medir a expectativa e percepção dos alunos. O gráfico da Figura 13 contém o resultado do instrumento aplicado à turma de 2010-1.

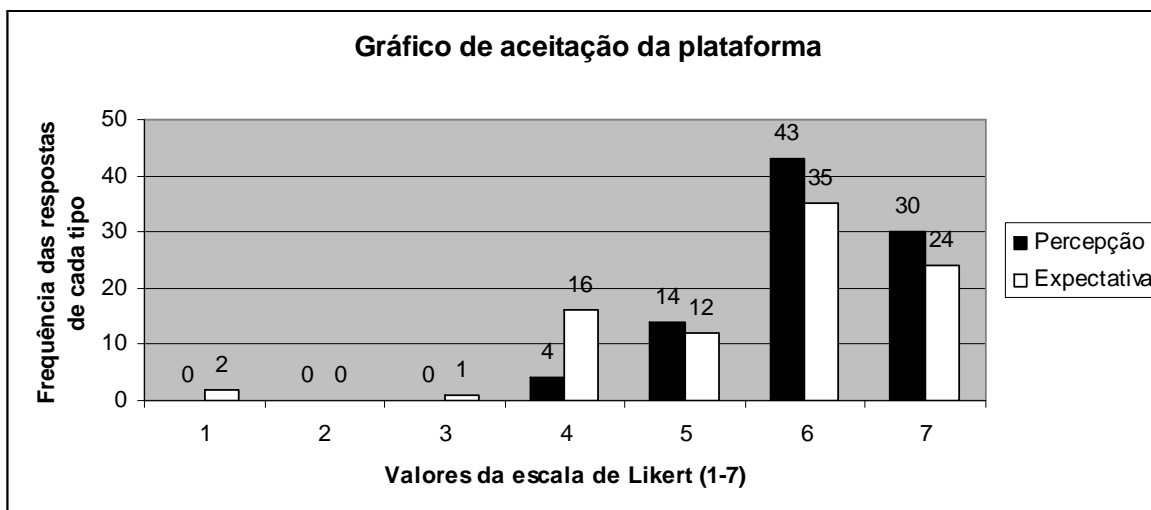


Figura 13. Gráfico com os resultados do instrumento SERVQUAL para a turma de 2010-1.

É possível perceber por meio do gráfico da Figura 13 que, após os alunos utilizarem a ferramenta, as respostas que tendiam para os itens de neutralidade e discordância desaparecem, ou seja, a frequência de respostas com valor abaixo de 5 é eliminada. Esses

valores são então distribuídos nos itens de maior concordância, com as questões evidenciadas, fazendo com que a percepção supere a expectativa nos itens de maior valor das respostas do questionário.

6.2. Análise gráfica das respostas do questionário de levantamento de subsunçores

O questionário de levantamento de subsunçores apresenta dez questões abertas sobre controle e automação acerca de conceitos presentes nos conteúdos das disciplinas que formam o currículo do curso. As respostas dos alunos foram analisadas com base no conhecimento do especialista dos temas das perguntas (professores) e quantificadas em uma escala de 1-5 em que 1 é conceito mal compreendido ou assimilado e 5 é conceito compreendido na sua totalidade ou bem assimilado. Os demais valores permitem uma maior granularidade dessas duas condições.

Os gráficos das Figuras 14-24 condensam um extrato geral da frequência do grau de coesão conceitual para as respostas dos alunos da turma de 2011-1, e também extrato mais particular tomando como referência cada pergunta.

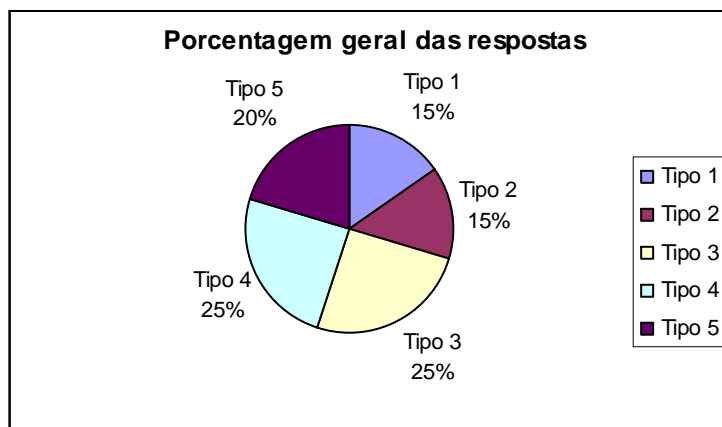


Figura 14. Porcentagem geral das respostas dos alunos.

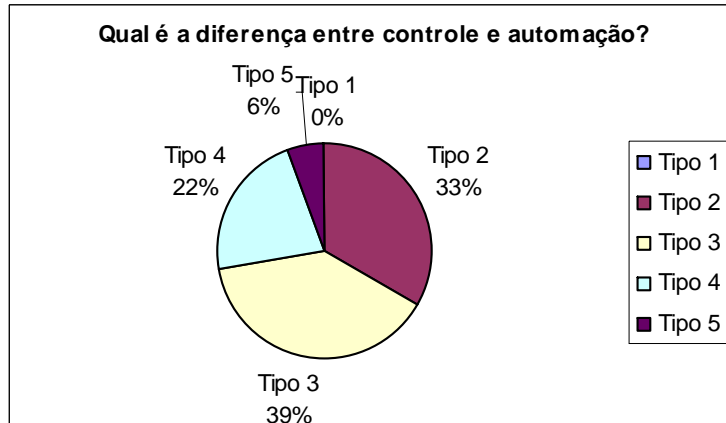


Figura 15. Porcentagem dos tipos de respostas para a 1ª pergunta.

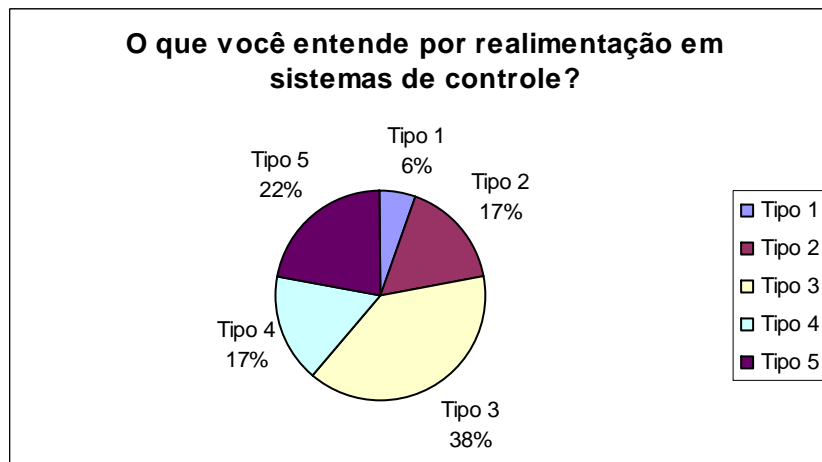


Figura 16. Porcentagem dos tipos de respostas para a 2ª pergunta.

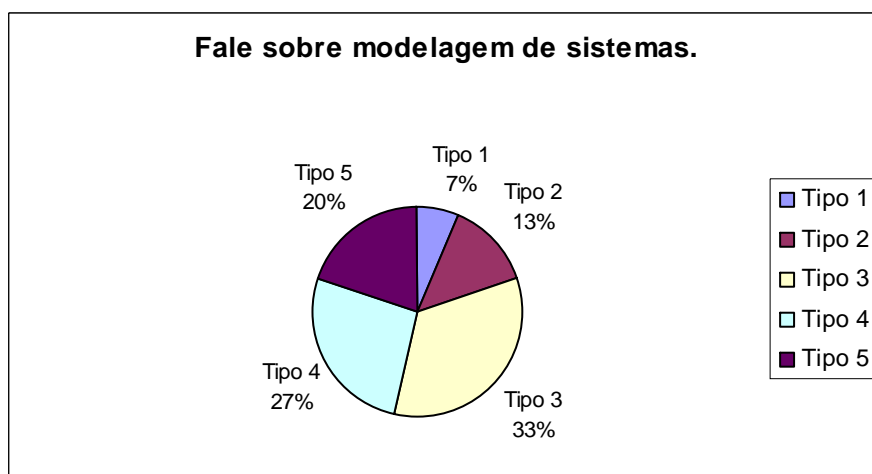


Figura 17. Porcentagem dos tipos de respostas para a 3ª pergunta.

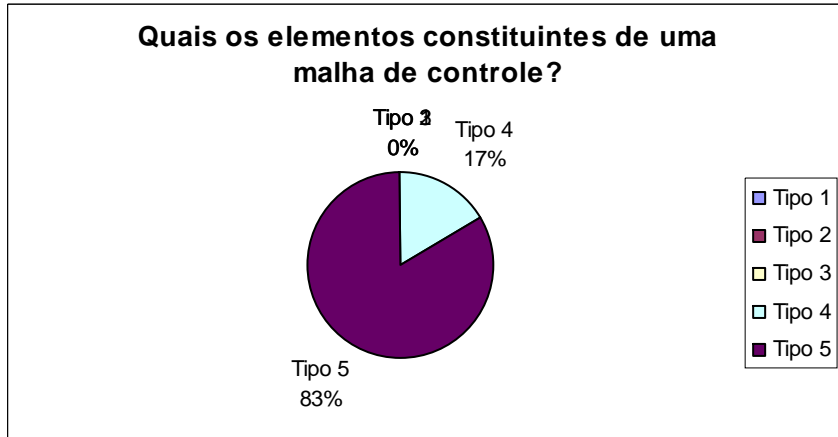


Figura 18. Porcentagem dos tipos de respostas para a 4ª pergunta.

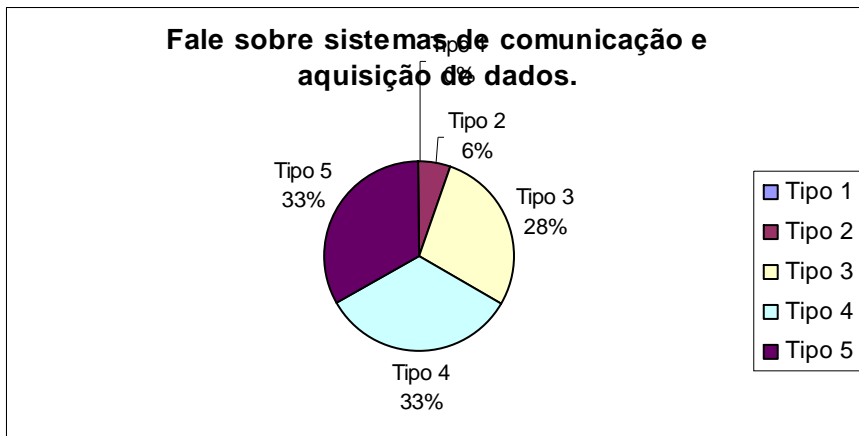


Figura 19. Porcentagem dos tipos de respostas para a 5ª pergunta.

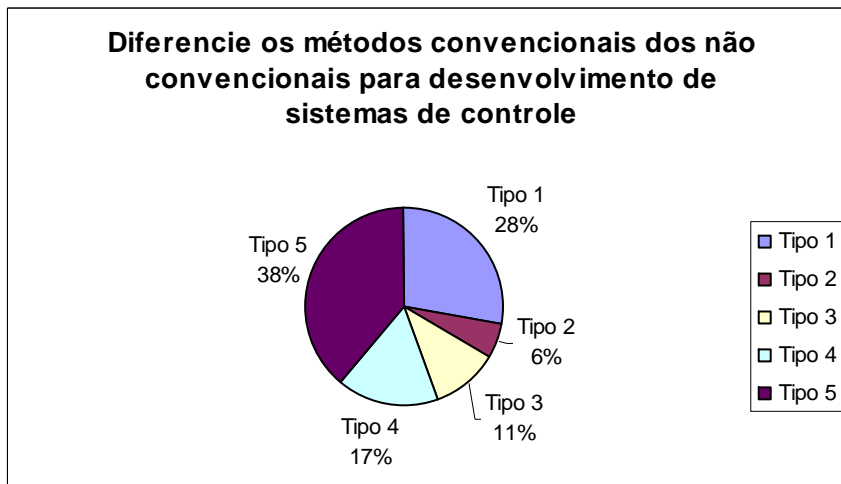


Figura 20. Porcentagem dos tipos de respostas para a 6ª pergunta.

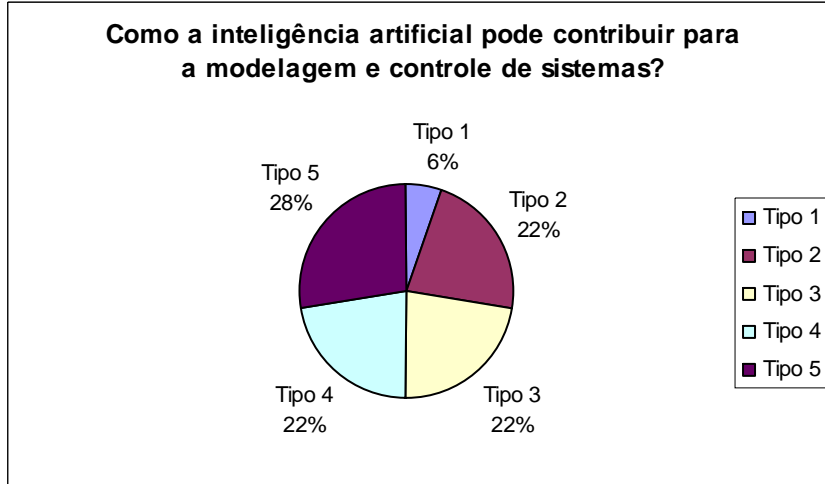


Figura 21. Porcentagem dos tipos de respostas para a 7ª pergunta.

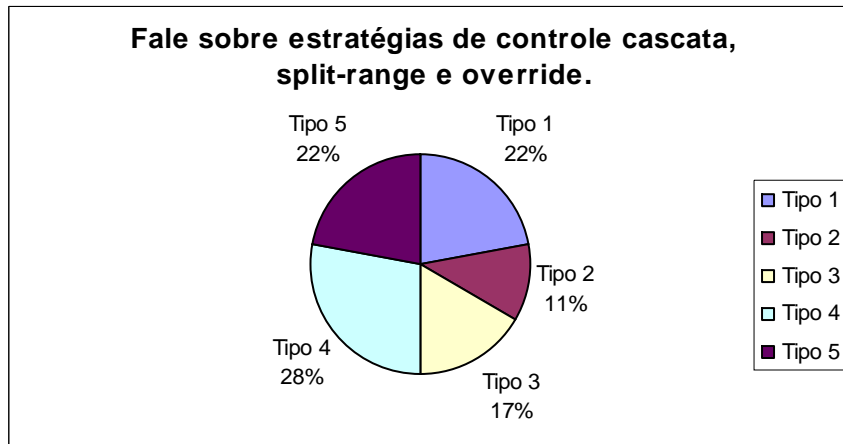


Figura 22. Porcentagem dos tipos de respostas para a 8ª pergunta.

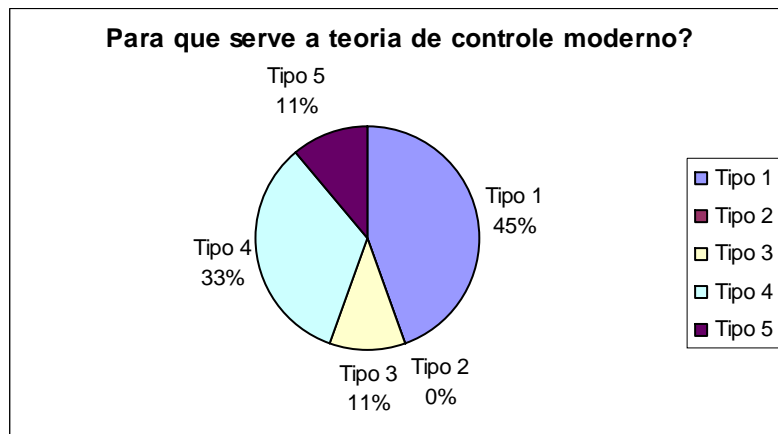


Figura 23. Porcentagem dos tipos de respostas para a 9ª pergunta.

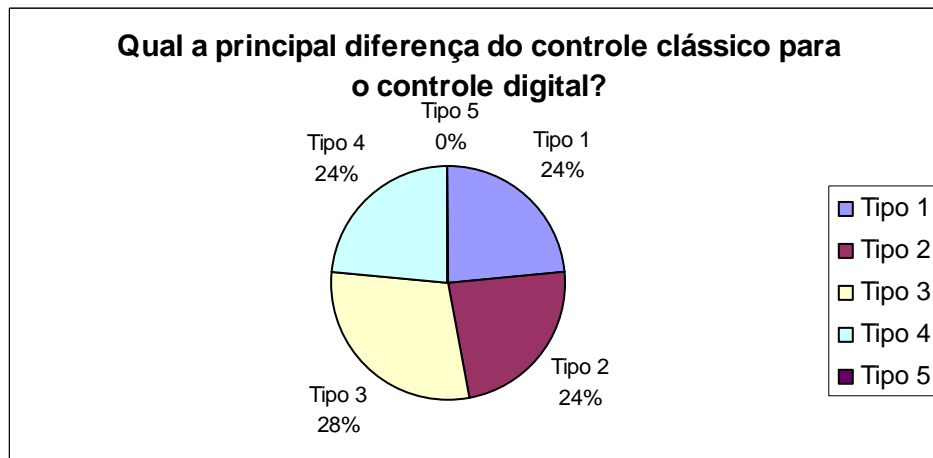


Figura 24. Porcentagem dos tipos de respostas para a 10ª pergunta.

É possível perceber a partir dos gráficos de distribuição de frequência quanto ao tipo das respostas que os alunos possuem os subsunçores necessários para a assimilação de novos conceitos em controle avançado. Os conceitos investigados por meio dos questionários são abrangentes e gerais permitindo que um grande número de novos conceitos possam se ancorar neles durante o processo de assimilação.

Na maior parte dos gráficos, as respostas dos tipos 3, 4 e 5 contemplam mais de 50% da área do gráfico. Esses tipos de respostas não consideram se os subsunçores existentes estão em formação correta, formados e completamente formados, a partir do entendimento de que as respostas às perguntas se apresentam como parcialmente correta, com correção e completamente corretas segundo a avaliação do especialista.

Com base nesse extrato, os conteúdos e materiais educacionais utilizados durante a prática docente foram desenvolvidos com um olhar crítico sobre a utilização dos subsunçores de melhor aproveitamento como base para as explicações e informações apresentadas nas aulas expositivas. De outra forma, os subsunçores, que apresentavam menor aproveitamento após a avaliação dos resultados do questionário, foram melhor detalhados e revistos durante as aulas.

6.3 Análise dos resultados obtidos pelo instrumento: mapas conceituais

Os momentos de produção/autoria são definidos pelo professor durante todo o semestre letivo, solicitados como tarefas a serem entregues, com prazos estabelecidos e

compondo a média final do aluno no componente curricular Controle Avançado, para fins de registro no sistema acadêmico do IFF.

Os mapas conceituais solicitados são referentes aos conteúdos:

- ✓ Controle avançado – mapa inicial para identificação da organização prévia dos conceitos nas estruturas cognitivas dos alunos;
- ✓ Redes neurais artificiais – mapa para verificação da organização cognitiva em conteúdo curricular intermediário;
- ✓ Lógica e controle *fuzzy* – mapa para verificação dos conceitos avançados do conteúdo;
- ✓ Controle avançado – mapa final para verificação da compreensão dos conceitos ao longo do semestre letivo e organização cognitiva.

O experimento foi aplicado na modalidade censo (todos os alunos matriculados) nos três semestres letivos respectivamente, 2010-1, 2010-2 e 2011-1. Todavia, para efeitos de análise qualitativa mais apurada, foram selecionados apenas um aluno em cada semestre letivo. Os mapas foram analisados sob a luz da TAS e os elementos: diferenciação progressiva, reconciliação integradora e hierarquização, compreensão e generalização foram identificados e comentados.

Para elaborar um modelo de interpretação dos mapas conceituais, faz-se necessário determinar quais mapas alcançam quais dos elementos considerados. Essa definição de gabarito não é totalmente delimitada, e que as regiões utilizadas como parâmetro para enquadrar os mapas são regiões não discretas.

O modelo permite uma categorização dos mapas em regiões de pontuação, com base na presença ou ausência dos elementos que caracterizam a aprendizagem significativa.

Apesar de tender para uma discretização da análise dos mapas, esse método é utilizado apenas com o intuito de organizar mais claramente os resultados do trabalho, uma vez que seria enfadonho para o leitor percorrer todos os mapas e comentários feitos.

A análise qualitativa é o que, realmente, importa e ela não deixa de estar presente em função do método de apresentação dos resultados. Outra vantagem do método é permitir, de forma clara, conjecturar estatisticamente (estatística descritiva) sobre os resultados mais gerais, alcançando, assim, padrão para comparação da eficácia do modelo

proposto, nas turmas utilizadas como campo empírico da pesquisa. No Quadro 2, é apresentado o modelo de referência para análise dos mapas conceituais.

Quadro 2. Definição de níveis dos mapas conceituais em função dos elementos TAS presentes.

Níveis do mapa	Elementos da TAS presentes nos mapas
1	Hierarquização morfológica, ramificação, conexões arbitrárias.
2	Diferenciação progressiva.
3	Reconciliação integradora, diferenciação progressiva.
4	Transversalidade, compreensão generalização.

✓ **Hierarquização morfológica**

Entende-se como hierarquização morfológica, o mapa que apresenta uma distribuição espacial dos seus conceitos na forma de hierarquia, na qual o aluno que o produziu possui um entendimento superficial dos conceitos e suas relações de forma que materializa essa relação pelo posicionamento espacial.

✓ **Ramificação**

Trata-se de uma organização do mapa na forma de ramos não necessariamente hierarquizados (de cima para baixo), mas sugerindo uma capacidade de diferenciar os elementos, independente de suas posições espaciais.

✓ **Conexões arbitrárias**

Ao lançar os conceitos, o aluno os organiza de forma arbitrária e, posteriormente, conecta-os também de forma arbitrária e não substantiva, caracteriza-se pela composição de uma proposição lógica equivocada, considerando o tema proposto através de uma conexão realizada entre dois conceitos apenas por comodidade espacial (dispostos próximos).

✓ **Diferenciação progressiva**

Quando o aluno organiza os conceitos no mapa de forma a conectá-los dos conceitos mais gerais, normalmente, posicionados no topo e no centro para os conceitos mais particulares, promove a subsunção de forma pela diferenciação do caso geral.

✓ **Reconciliação integradora**

Os conceitos se apresentam na forma de opções, casos particulares e conceitos específicos e, posteriormente, interligam-se a conceitos mais gerais, que categorizam os mais particulares, ou seja, a partir dos casos particulares identifica similaridades e chega ao conceito geral.

✓ **Transversalidade**

Apesar de não ser mencionada na TAS, será considerada transversalidade os conceitos que estiverem espacialmente afastados, mas ainda assim o aluno é capaz de identificar uma relação existente entre eles e constrói uma conexão que, visualmente, atravessa o mapa estruturado. Evidencia domínio sobre o tema proposto e demonstra capacidade de compreensão.

✓ **Generalização e compreensão**

São apresentadas como conexões não percebidas pelo especialista do tema proposto (professor) realizadas pelo aluno e que possuam relevância e demonstrem compreensão elevada da relação entre os conceitos. A presença de generalização para situações e conceitos não previstos durante as aulas expositivas e que evidenciam uma capacidade de generalização do tema, sobretudo, no campo de aplicações.

Foram selecionados, aleatoriamente, trechos dos mapas conceituais elaborados pelos alunos da turma de controle avançado de 2010-2 para que fossem analisados com base nos critérios estabelecidos no Quadro 2.

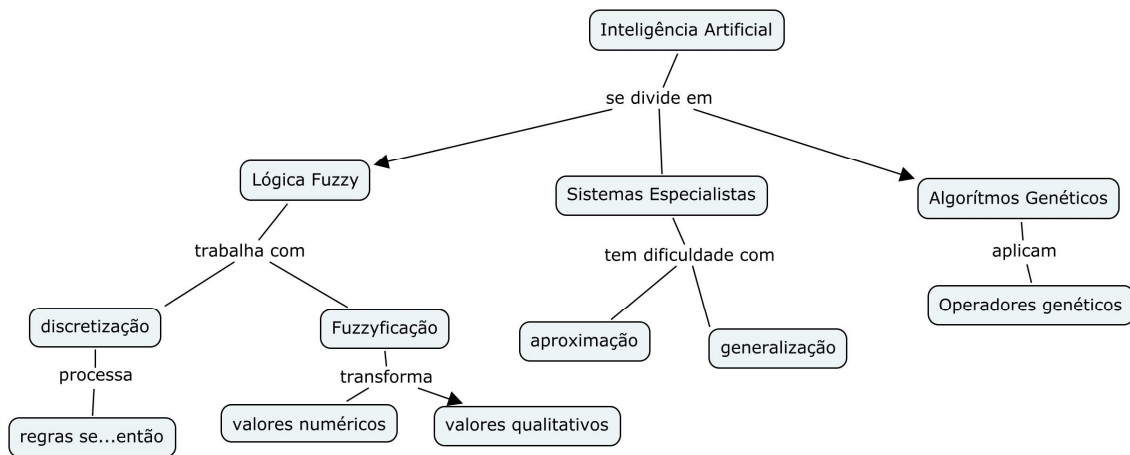


Figura 25. Mapa conceitual para análise dos primeiros elementos do quadro 2.

É possível perceber no mapa da Figura 25 a presença do item hierarquização morfológica, os conceitos se organizam de cima para baixo, ficando os mais gerais no topo do mapa e os mais particulares na parte de baixo.

O elemento conexão arbitrária está presente na proposição: discretização -> processa -> regras se..então. A discretização é um processo necessário para implementação computacional da lógica *fuzzy* e está associado às funções de pertinência e não às regras se..então.

A ramificação está presente também no mapa, pois é o mecanismo mais simples de estruturação espacial dos conceitos. A orientação *top-down* desta ramificação caracteriza a hierarquização morfológica.

A diferenciação progressiva está presente no mapa à medida que o aluno “ancora” os conceitos assimilados *à posteriori* em subsunçores mais gerais pré-existentes em suas estruturas cognitivas. Nesse caso, são os paradigmas da inteligência artificial presentes no mapa (lógica *fuzzy*, sistemas especialistas e algoritmos genéticos). A presença dos conceitos de aproximação e generalização corrobora a diferenciação progressiva ao se ancorar ao conceito mais geral, sistemas especialistas, interligando-se a ele na forma de limitações do paradigma, caracterizada pelo termo de ligação “tem dificuldade com”.

A percepção da ausência de elementos transversais, generalização e compreensão no mapa apresentado e a própria organização espacial dos conceitos, o que evidencia a ausência da reconciliação integradora. Sendo assim, esse mapa é caracterizado pelo nível 2 segundo os critérios estabelecidos no Quadro 2.

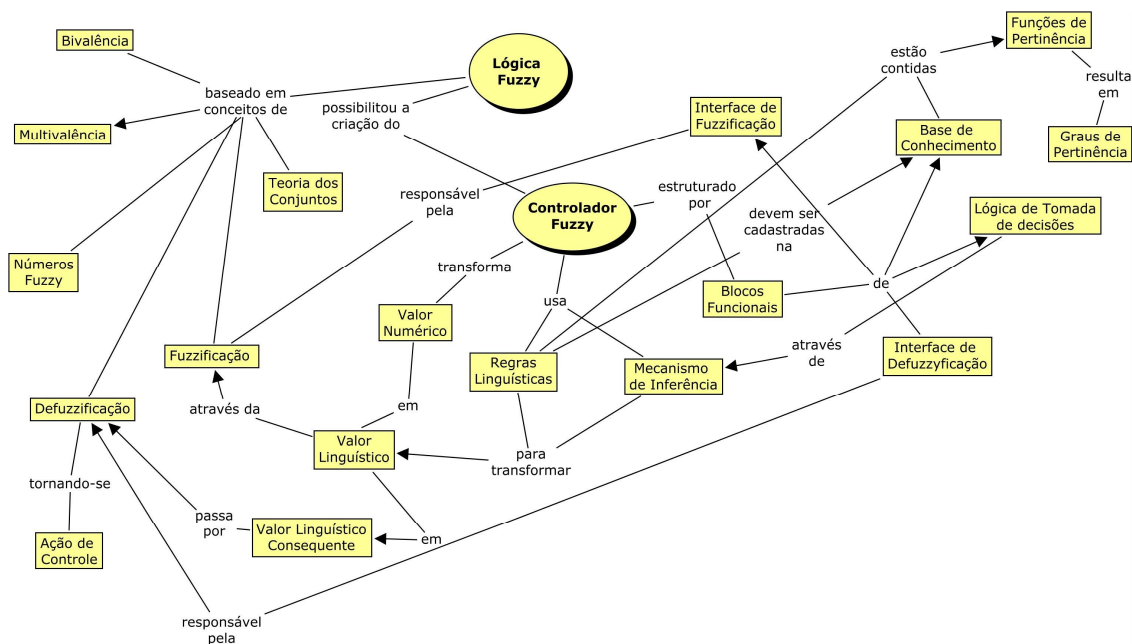


Figura 26. Mapa conceitual para análise dos demais elementos.

O mapa apresentado na Figura 26 mostra a presença dos elementos transversais, pois demonstra a capacidade do aluno em identificar relações substantivas entre conceitos que não estão próximos no mapa.

A compreensão também está evidenciada pela capacidade do aluno criar conexões entre conceitos não simplesmente na forma um para um, mas conectando este conceito a outros sempre que identifica essa necessidade. Essa característica demonstra uma compreensão mais elevada do tema proposto, não limitado pelo pensamento hierarquizado e categorizado.

Apesar de não apresentar claramente o elemento generalização, esse mapa pode ser considerado como nível 4 pelos critérios estabelecidos no Quadro 2.

Esse método de análise de mapas foi aplicado a todos os mapas elaborados pelos alunos e estes foram categorizados nos níveis definidos no Quadro 2, resultando na possibilidade de organização e conjectura descritiva dos mapas separados por turmas relativas aos semestres de 2010-1, 2010-2 e 2011-1. A quantidade de mapas esperados e recebidos dos alunos é apresentada no Quadro 3.

Quadro 3. Quantidade de mapas esperados e recebidos para as turmas de 2010-1, 2010-2 e 2011-1.

Turma 2010-1	Turma de 2010-2	Turma de 2011-1
Mapas esperados: 152	Mapas esperados: 57	Mapas esperados: 72
Mapas entregues: 133	Mapas entregues: 51	Mapas entregues: 58

Os dados referentes à turma de 2010-1 são apresentados nos gráficos das Figuras 27-31 e permitem ao leitor visualizar um extrato de frequência dos tipos de mapas. Cabe salientar que a metodologia utilizada para aplicação do modelo pedagógico, no qual um dos instrumentos utilizados são os mapas conceituais, foi preservada e mantida para as três turmas investigadas.

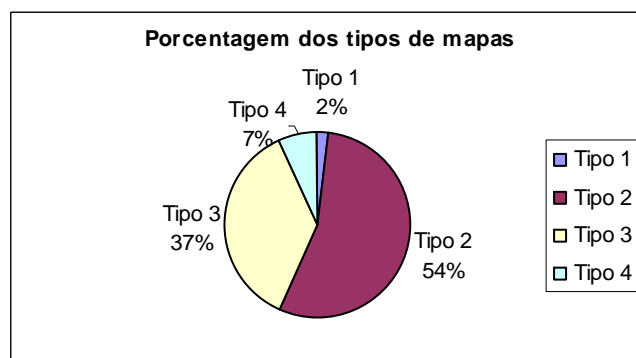


Figura 27. Porcentagem dos tipos de mapas para a turma 2010-1.

Na Figura 27, os mapas se concentram nos tipos 2 e 3, evidenciando que, do total de mapas construídos, independente do tema proposto, os alunos tiveram dificuldade de alcançar os elementos mais avançados da aprendizagem significativa.

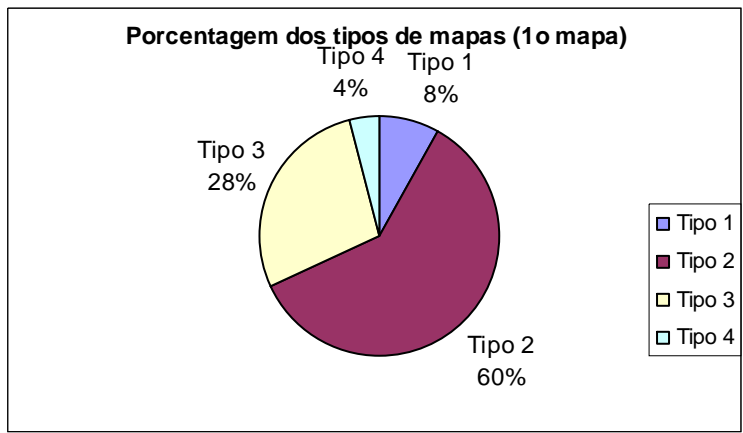


Figura 28. Porcentagem dos tipos de mapas (1º mapa solicitado).

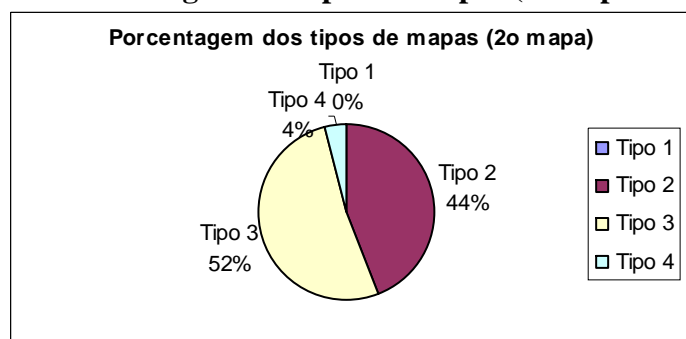


Figura 29. Porcentagem dos tipos de mapas (2º mapa solicitado).

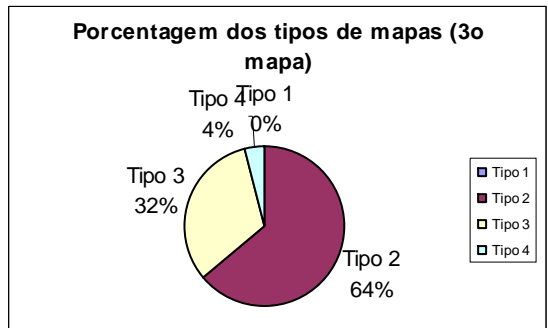


Figura 30. Porcentagem dos tipos de mapas (3º mapa solicitado).

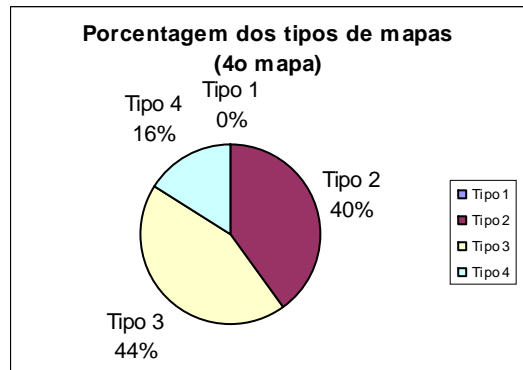


Figura 31. Porcentagem dos tipos de mapas (4º mapa solicitado).

Ao analisarmos as Figuras de 27-31, pode-se perceber que a quantidade de mapas do tipo 2 só é superada pela quantidade de mapas 3 apenas no caso do 2º e 4º mapas solicitados. Os assuntos desses mapas são respectivamente redes neurais artificiais e controle avançado (mapa final). Se forem analisados os momentos nos quais são solicitados, esses mapas coincidem com os momentos de final de bimestre nos quais assuntos distintos são finalizados e precedem, inclusive, as avaliações de desempenho.

É possível perceber a partir dos resultados apresentados a predominância do mapa de nível 2. O mapas de nível 2 são caracterizados pela presença marcante do elemento diferenciação progressiva. A frequência dos mapas de nível 4 é relativamente baixa caracterizando uma dificuldade por parte da maioria dos alunos em realizar conexões transversais, compreensão e generalização dos conceitos existentes. Todavia, os mapas de níveis 2 e 3 contemplam elementos importantes da TAS. Nas Figuras de 32-35, é apresentado o extrato de mapas da turma de 2010-2.

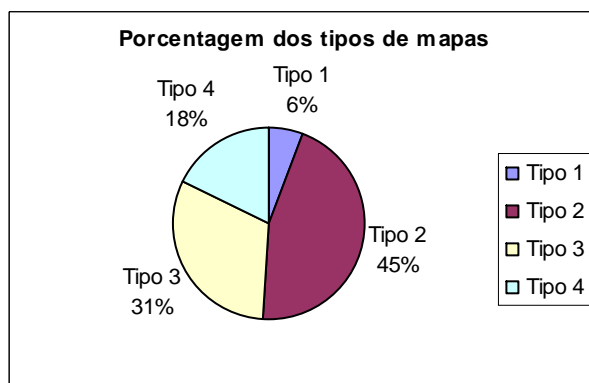


Figura 32. Porcentagem dos tipos de mapas (geral) para a turma 2010-2.

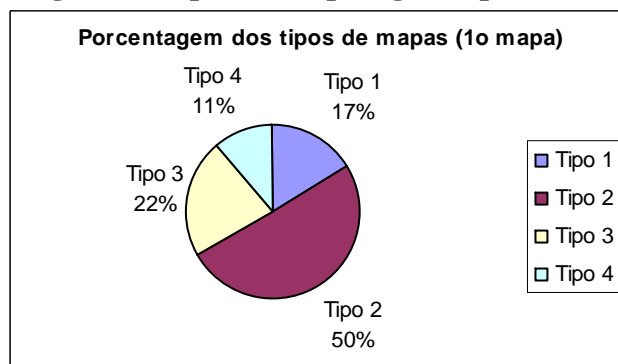


Figura 33. Porcentagem dos tipos de mapas (1º mapa solicitado).

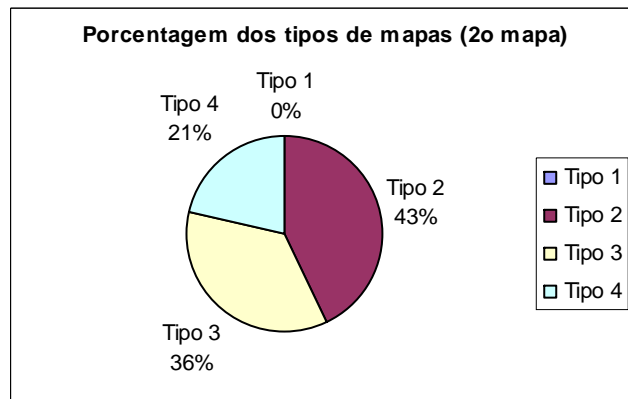


Figura 34. Porcentagem dos tipos de mapas (2º mapa solicitado).

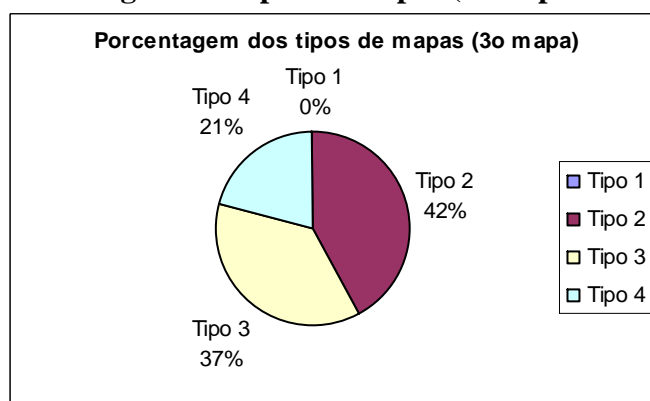


Figura 35. Porcentagem dos tipos de mapas (3º mapa solicitado).

Para as turmas de 2010-2 e 2011-1 não foram entregues o quarto mapa solicitados. Para efeito de análise, levou-se em consideração apenas os mapas apresentados. Nas Figuras de 36-39, é apresentado o extrato de mapas da turma de 2011-1.

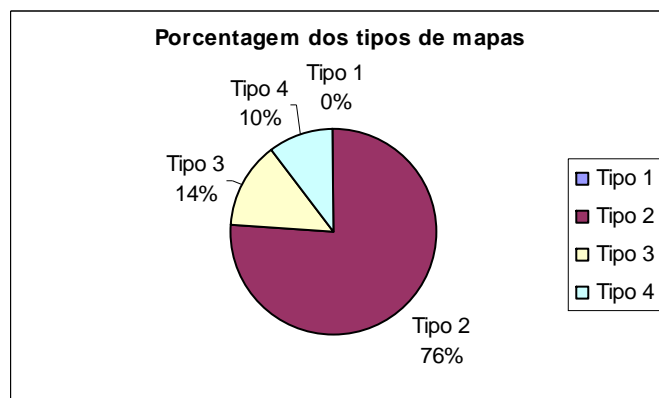


Figura 36. Porcentagem dos tipos de mapas (geral) para a turma 2011-1.

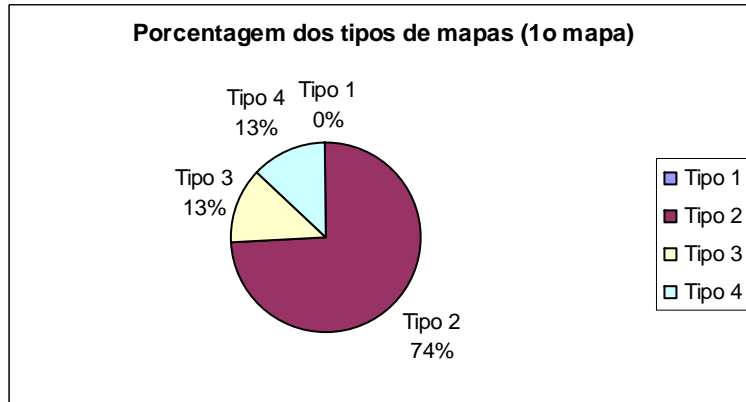


Figura 37. Porcentagem dos tipos de mapas (1º mapa solicitado).

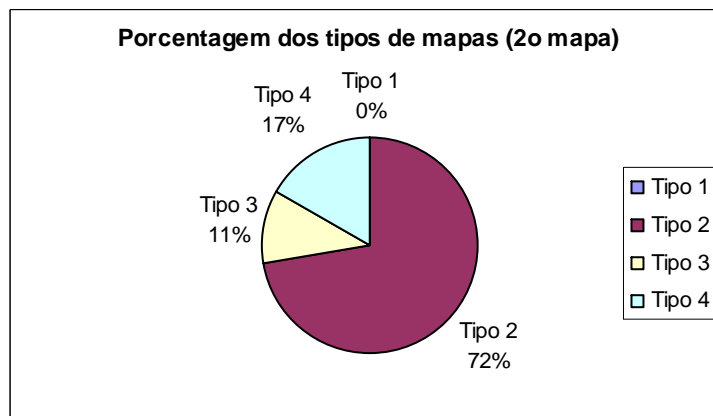


Figura 38. Porcentagem dos tipos de mapas (2º mapa solicitado).

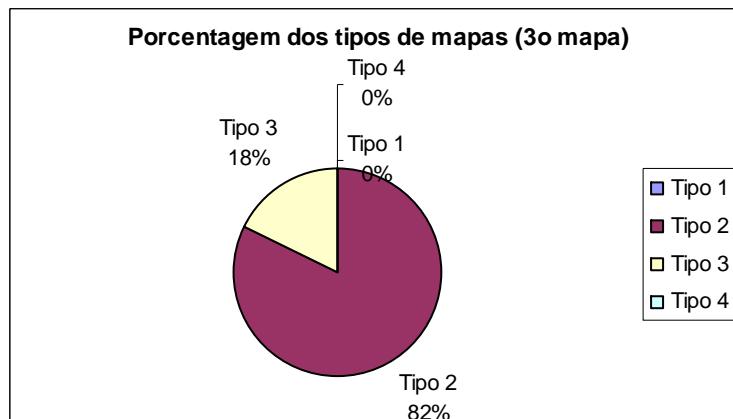


Figura 39. Porcentagem dos tipos de mapas (3º mapa solicitado).

Os demais instrumentos de pesquisa foram analisados tomando como referência os casos de estudo selecionados para alunos das turmas de 2010-1, 2010-2 e 2011-1. Esses resultados são apresentados e analisados de forma qualitativa e as conclusões e considerações das análises são apresentadas no capítulo 7.

6.4 Resultados do estudo de caso.

Como forma de apresentar uma análise mais particular sobre a aprendizagem significativa dos alunos, optou-se em realizar um estudo de caso para as turmas de 2010-1, 2010-2 e 2011-1.

Os resultados dos demais instrumentos de pesquisa foram analisados qualitativamente na forma de estudo de caso, escolhidos aleatoriamente nas três turmas investigadas e apresentadas de forma a permitir cotejar as evidências expostas pelos dados coletados.

6.4.1. Caso 1: Aluno da turma de 2010-1

Subsunçores

A partir do questionário de subsunçores utilizado como instrumento de pesquisa e investigação dos conceitos pré-existentes nas estruturas cognitivas dos alunos, foi realizada uma amostragem com foco em um aluno da turma de 2010-1. O extrato dos tipos de respostas analisadas pelo especialista em controle e automação foi organizado na forma de perfil para que seja possível evidenciar o valor de resposta para cada item do questionário de levantamento de subsunçores.

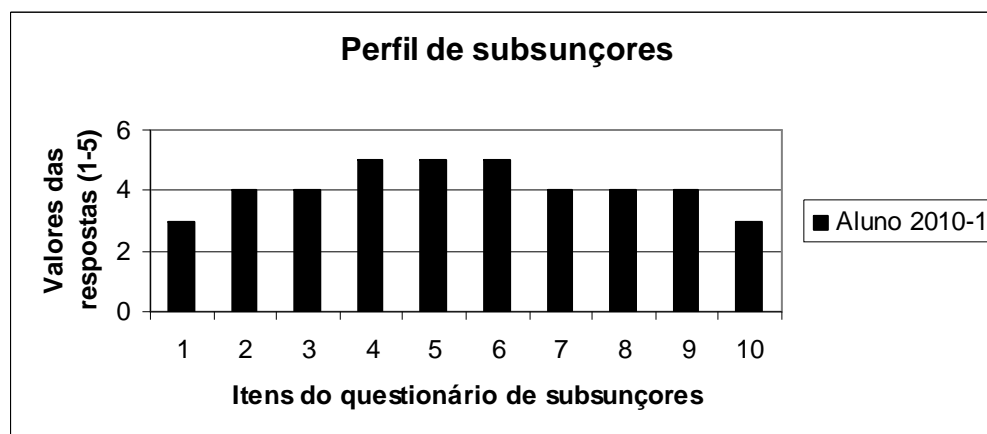


Figura 40. Perfil de subsunçores do aluno da turma de 2010-1.

É possível perceber pelo gráfico da Figura 40 que o aluno possui níveis elevados de resposta e, conseqüente, compreensão dos subsunçores investigados para a maior parte dos itens do questionário, atingindo o nível máximo nos itens 4, 5 e 6 que são respectivamente:

“4 – Quais os elementos constituintes de uma malha de controle em processos industriais? Exemplifique estes elementos com modelos comerciais.

5 – Fale sobre sistemas de comunicação e aquisição de dados em sistemas de controle.

6 – Diferencie os métodos convencionais dos não convencionais para desenvolvimento de sistemas de controle.”

Os itens, em questão, atentam para subsunçores de enorme relevância dentro da área de controle e automação, pois buscam investigar a organização de conceitos amplos e abrangentes nas estruturas cognitivas do aluno, tais como: *sistemas de comunicação e aquisição de dados, métodos de projeto de sistemas de controle e elementos básicos de uma malha de controle.*

A partir dos resultados analisados para o aluno, em questão, não se pode determinar com certeza se esse aluno irá aprender de forma significativa os conteúdos que lhe serão apresentados na disciplina de controle avançado. Isso porque os subsunçores são condição necessária, mas não suficientes para manifestação da aprendizagem significativa. Todavia, lançando mão de um olhar mais focado nos resultados encontrados por meio desse instrumento em particular, é possível identificar um elevado potencial para a promoção da aprendizagem significativa em função do aproveitamento do aluno no questionário de subsunçores.

Pesquisa-texto

O instrumento pesquisa texto foi selecionado para compor a análise qualitativa de alguns instrumentos para os casos de estudo selecionados. Para a análise desse instrumento, em particular, foi selecionado o texto de um aluno da turma de 2010-1 no qual ele apresenta a síntese de sua pesquisa, elabora um texto dissertativo, esclarecendo os pontos de interesse da aplicação de I.A. em controle e automação como forma de buscar novas formas e estratégias de controle.

Cabe salientar que os instrumentos analisados no estudo de caso foram selecionados do mesmo aluno por turma.

Atenta para o fato de que, para além da identificação e desenvolvimento de novos sistemas de controle com base na I.A., o mercado de trabalho representado pelas indústrias de processos produtivos ainda são bastante resistentes a essas mudanças.

“Apesar dos exemplos, as resistências em usar esta tecnologia frente as já conhecidas são muitas, seja pela facilidade de lidar com uma tecnologia já experimentada, seja pelo desconhecimento da aplicabilidade ou pela falta de capacitação.”

Demonstra que compreende perfeitamente onde os sistemas inteligentes (sistemas dotados de I.A.) podem ser aplicados e quando são requeridos ao definir:

“Os sistemas inteligentes são utilizados para solucionar casos em que o Controle Clássico não pode atender ou porque requereria de uma dificuldade muito maior para fazê-lo.”

Destaca que um dos grandes desafios do engenheiro de controle e automação em sua atividade profissional é desenvolver bons modelos matemáticos dos processos a serem controlados e enfatiza uma potencial utilização da I.A. neste ponto de demanda.

“Uma das grandes dificuldades é encontrar um bom modelo. Isto exige de nós, futuros Engenheiros, um maior empenho no intuito de se identificar um modelo coerente com o processo.”

Apresenta elementos de compreensão bastante evidentes quando enuncia a dificuldade e ainda imaturidade das pesquisas ligadas à aplicação da I.A. em ambiente corporativo, tendo como desafio o domínio das técnicas e seu posterior aprimoramento.

“Por todo material lido, a aplicabilidade do Controle Avançado em nosso curso é muito ampla, mas ainda pouco conhecida.”

Os relatos apresentados nessa análise foram extraídos na íntegra do texto produzido pelo aluno selecionado da turma de 2010-1. Foram analisados com foco na compreensão dos conteúdos mais elementares ministrados nas aulas expositivas e no potencial de generalização e compreensão destes elementos, a partir do desenvolvimento do texto dissertativo com base em pesquisas e demais fontes de consulta.

É perceptível, por meio dessa análise, que o aluno apresenta a capacidade de compreensão desejada para o conteúdo proposto, bem como a capacidade de assimilar novos elementos apresentados nos textos e demais recursos utilizados durante a pesquisa. Isso demonstra a formação e modificação dos subsunçores de forma adequada durante as aulas expositivas, promovendo indícios da aprendizagem significativa com base nos elementos destacados.

Solução de problemas

Os resultados do instrumento solução de problemas são apresentados com base em uma análise qualitativa do relatório da atividade apresentado pelo aluno selecionado da turma de 2010-1. Na composição do relatório, o aluno utilizou, inicialmente, uma explanação do experimento selecionado no que tange à contextualização do problema de controle, variáveis envolvidas, método escolhido para resolução, entre outros.

Além da explanação, foi utilizada uma seção de apresentação da metodologia de investigação utilizada durante os testes no equipamento. Os resultados de desempenho do sistema de controle desenvolvido e testado no sistema real foram apresentados na forma gráfica. Realizou-se uma análise qualitativa dos resultados, promovendo as conclusões dos testes utilizados como material de análise nesse instrumento.

O relatório do aluno da turma de 2010-1 foi entregue dentro dos padrões estabelecidos para as seções iniciais do documento. Os seguintes trechos foram extraídos da conclusão e se estruturam como uma análise realizada pelo aluno durante a resolução do problema proposto.

“O nível responde mais rápido a ação de controle devido a válvula de saída de água estar localizada próxima ao instrumento de medição de nível. Note que a ação de controle não permite que o nível chegue abaixo de 85, pois quando o nível está próximo do nível setado a válvula de saída está praticamente fechada e continua entrando água pela válvula de entrada de água fria que está sendo usada para controlar a temperatura.(...) A abertura da válvula de saída de água também ajuda no controle de temperatura, uma vez que quando a mesma abre expulsa

água quente do sistema e em conjunto com a entrada de água fria através da válvula de cima ajuda a regular a temperatura.

O sistema apresentou erro de off-set devido a ser um sistema proporcional puro. Para eliminar esse erro deveríamos utilizar uma ação integral. Outra dificuldade encontrada foi o tempo que leva para a água chegar até o fundo da panela devido a mesma escoar através dos pratos da coluna entre a entrada de água e a panela. Esse fato gera um atraso na resposta do sistema a ação de controle.”

Em função do trecho extraído, é possível perceber que o aluno consegue identificar os empecilhos naturais ao resolver um problema que transcende à aplicação teórica e computacional. Ele tem que contornar problemas de ordem tecnológica e prática ligados ao processo a ser controlado.

O aluno percebe uma limitação da estratégia de controle utilizada quando diz: “*O sistema apresentou erro de off-set devido a ser um sistema proporcional puro.*”, trata-se de uma conclusão individual a que ele chega ao ter que interagir com um problema de ordem prática. Mesmo não conseguindo contornar essa dificuldade para a entrega do relatório, ele detectou o problema, demonstrando amadurecimento com relação ao conceito de erro em função de *off-set* e, conseqüentemente, generalização desse conceito visto, até então, apenas na teoria.

Mapas conceituais

Os mapas conceituais do aluno da turma de 2010-1 apresentam uma evolução do segundo para o terceiro mapa solicitado, migrando de mapas do tipo 3 para mapas do tipo 4, como pode ser visto na Figura 41. Ambos os tipos de mapas são bastante consistentes em termos de elementos da aprendizagem significativa conforme Quadro 2.

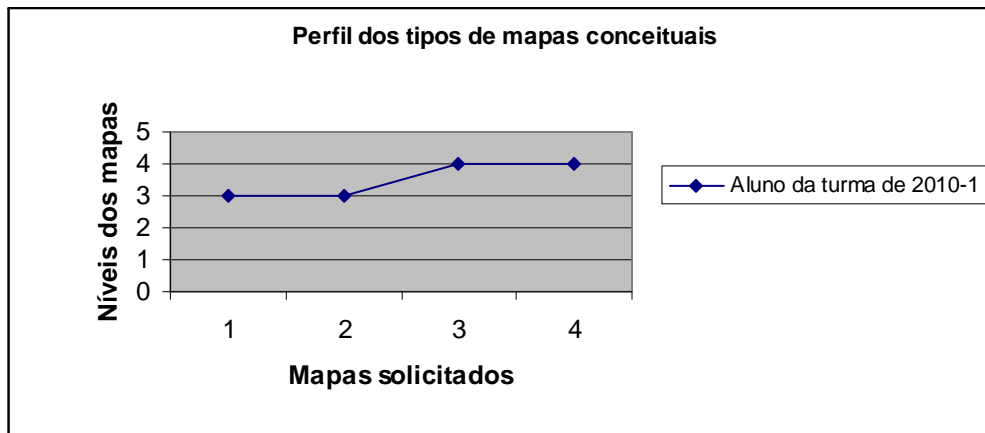


Figura 41. Evolução dos mapas conceituais do aluno da turma de 2010-1.

Na seção 6.4.2, serão apresentados os resultados para o caso de estudo referente ao aluno da turma de 2010-2.

6.4.2. Caso 2: Aluno da turma de 2010-2

Subsunçores

O perfil das respostas para o questionário de levantamento de subsunçores do aluno da turma de 2010-2 pode ser visto na Figura 42.

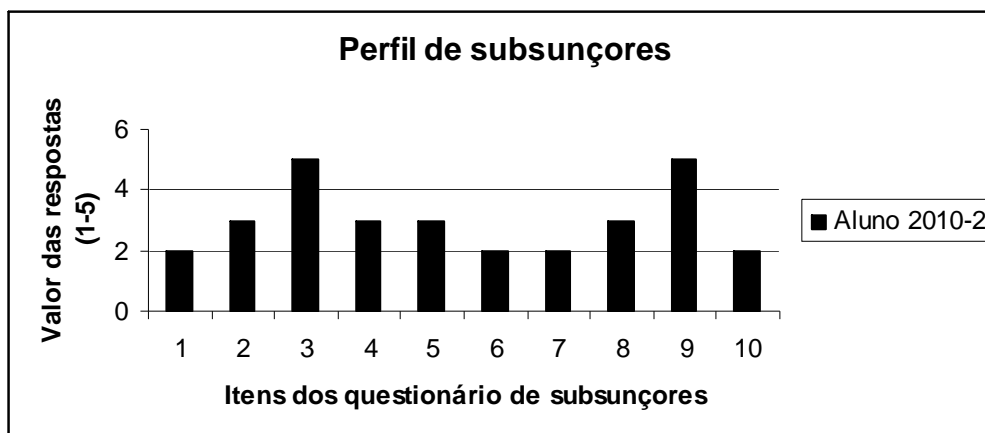


Figura 42. Perfil de subsunçores do aluno da turma de 2010-2.

É possível perceber pelo gráfico da Figura 42 que ocorre uma distribuição não tão homogênea nos valores atribuídos às respostas do questionário. Possui uma forte presença de valores 2 associados às respostas de quatro questões, sendo elas 1, 6, 7 e 10, que são respectivamente:

“1 – Qual é a diferença entre controle e automação?

6 – Diferencie os métodos convencionais dos não convencionais para desenvolvimento de sistemas de controle.

7 – Como você imagina que os sistemas inteligentes (inteligência artificial) podem contribuir para a modelagem e controle de sistemas?

10 – Qual a principal diferença do controle clássico para o controle digital?”

Para o aluno da turma de 2010-2, pode-se identificar que ele possui pouca compreensão nos itens destacados do questionário, obtendo valor 2 para as respostas pela análise do especialista. Com base nessa informação, foi possível, por meio de mediação durante o semestre letivo, fornecer informações adicionais para esse aluno de forma a tentar elevar seu nível de compreensão de conceitos como: *malha de controle, teoria de controle, discretização e implementação computacional de métodos de controle*.

Os conceitos relativos à aplicação de I.A. em controle e automação puderam ser desenvolvidos naturalmente, ao longo do semestre letivo e em função das aulas expositivas com base no programa da disciplina de controle avançado.

Pesquisa-texto

O texto dissertativo foi também solicitado aos alunos da turma de 2010-2. Ao analisar a pesquisa-texto desenvolvida pelo aluno dessa turma, foi possível detectar que o aluno não conseguiu compreender a tarefa como havia sido solicitado.

A orientação geral, dada aos alunos antes da realização da tarefa, foi de que produzissem um texto dissertativo com base em trabalhos pesquisados na internet ou em outras fontes de consulta.

A partir dos trabalhos investigados, os alunos deveriam produzir o texto de sua própria autoria, permitindo ao especialista detectar indícios de generalização e compreensão dos conceitos de I.A. aplicada à indústria. Todavia, o aluno optou por entregar uma cópia de trabalho encontrado na internet na íntegra. Em função do material apresentado como resposta a essa tarefa, a análise da pesquisa texto para esse caso, em particular, não pode ser efetuada.

Orientações foram dadas aos alunos sobre problemas com cópias de trabalhos científicos, como forma de prevenção de novos incidentes dessa natureza. Ainda assim, a atividade não foi refeita em função da manutenção dos protocolos de investigação adotados para o experimento didático pedagógico.

Solução de problemas

Foi solicitado aos alunos da turma de 2010-2 a produção de um relatório a partir da tarefa de treinamento de RNA's. Nesse relatório, devem constar as informações do problema de identificação escolhido para treinamento das redes neurais; os gráficos anteriores e posteriores ao treinamento; o gráfico comparativo entre saída modelo e saída do sistema para validação visual do desempenho da RNA.

O relatório do aluno selecionado da turma de 2010-2 apresentou concordância com esses itens e como conclusão do experimento, o seguinte texto foi apresentado:

“A partir desse gráfico concluo que a rede não foi tão eficiente, o símbolo ‘+’ corresponde a saída da rede neural e o símbolo ‘o’ corresponde a saída real, nota-se isto devido ao fato da não coincidência de todos os pontos. Acredito que a falta de eficiência da rede seja devido a alteração que fiz no algoritmo do conjunto de treinamento, mudando o número de interações na parte que diz respeito a redução da matriz. Fiz essa alteração pois minha rede neural só apresentava dois pontos no gráfico, ficando difícil de avaliar a mesma, então alterei o algoritmo para apresentar mais pontos no gráfico, mas, por outro lado, aumentei a chance de erro da rede neural.”

A partir desse texto de conclusão, é possível perceber que o aluno desenvolveu a capacidade de identificar problemas durante a realização da tarefa, organizada na forma de solução de problemas, e que foi capaz de realizar modificações no procedimento padrão como forma de tentar atingir o objetivo proposto.

Essa evidência aponta para a característica de generalização estabelecida como ponto positivo no processo da aprendizagem significativa. Se o aluno for capaz de atingir objetivos estabelecidos para situações de aprendizagem não previstas durante as aulas

expositivas, ele terá demonstrado um elemento relevante para manifestação da aprendizagem significativa.

Mapas conceituais

O perfil da evolução dos tipos de mapas, para o aluno da turma de 2010-2 é apresentado no gráfico presente na Figura 43.

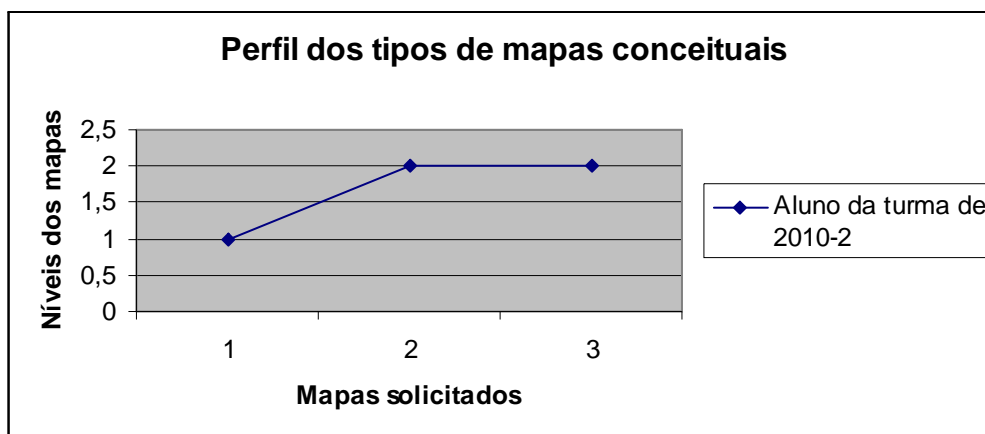


Figura 43. Evolução dos mapas conceituais do aluno da turma de 2010-2.

Percebe-se que os níveis atribuídos aos mapas entregues pelo aluno da turma de 2010-2 são inferiores aos níveis atribuídos aos mapas do aluno da turma de 2010-1. Isso aponta que, apesar da evolução obtida do primeiro mapa elaborado; para os outros dois, o aluno não evoluiu muito.

Elementos mais avançados do Quadro 2 não foram detectados nos mapas elaborados. Isso evidencia uma dificuldade de o aluno estabelecer as relações mais complexas entre os conceitos presentes no mapa, o que demonstra falta de compreensão mais ampla dos conteúdos apresentados.

6.4.3. Caso 3: Aluno da turma de 2011-1

Subsunçores

O perfil das respostas para o questionário de levantamento de subsunçores do aluno da turma de 2011-1 é apresentado na Figura 44.

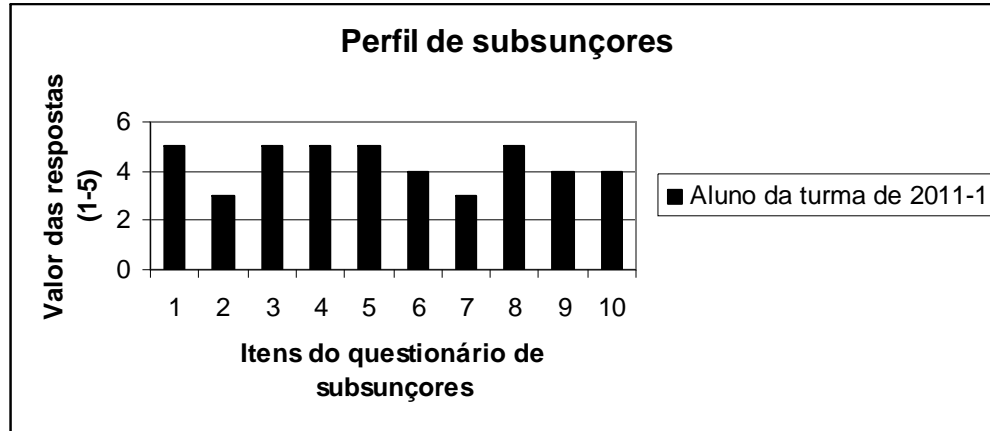


Figura 44. Perfil de subsunçores do aluno da turma de 2011-1.

O gráfico da Figura 44 demonstra que o aluno atingiu o nível mais elevado de compreensão do conceito, na visão do especialista. Os itens 1, 3, 4, 5 e 8 apresentam nível 5 e são respectivamente os seguintes questionamentos:

“1 – Qual é a diferença entre controle e automação?

3 – Fale sobre modelagem de sistemas.

4 – Quais os elementos constituintes de uma malha de controle em processos industriais? Exemplifique esses elementos com modelos comerciais.

5 – Fale sobre sistemas de comunicação e aquisição de dados em sistemas de controle.

8 – Em que situações são aplicadas as estratégias de controle: cascata, split-range e override?”

Além de obter valor 5 de compreensão do conceito para os itens acima relacionados, o aluno ainda obteve valor 4 em outros dois itens e não obteve nenhum valor abaixo de 3, o que poderia evidenciar a necessidade de estimular conceitos pobremente compreendidos.

Pesquisa-texto

O texto dissertativo produzido pelo aluno escolhido para representar a turma de 2011-1 atendeu às expectativas no que tange aos objetivos da tarefa proposta. O trecho de particular interesse no documento entregue é apresentado no parágrafo a seguir:

“A leitura desses artigos foi bem interessante pois mostra que as técnicas de Inteligência artificial estão sendo aplicados na solução de diversos

problemas existente e de forma diferente e integrando diferente técnicas de pesquisa na mesma aplicação como redes neurais artificiais em conjunto com a lógica fuzzy e em outro trabalho de algoritmos genéticos em conjunto com a lógica Fuzzy.”

O aluno consegue, a partir da leitura de artigos científicos, elaborar o texto dissertativo e, na conclusão, aponta o valor da tarefa solicitada ao destacar o poder da combinação de diferentes paradigmas da I.A. na resolução de um mesmo problema.

É possível perceber que em alguns momentos o aluno é confuso na escrita, por não conseguir se expressar corretamente, mas esses desvios não comprometem a análise sobre sua produção.

Solução de problemas

O relatório referente ao instrumento solução de problemas foi entregue pelo aluno da turma de 2011-1 e, assim como os demais casos apresentados, também apresentou coesão com relação à estrutura sugerida. A conclusão do relatório está em destaque no parágrafo transcrito.

“Foi possível perceber que o primeiro controlador testado foi o que mais se aproximou da resposta desejada, mas mesmo assim não foi satisfatório devido ao grande tempo de assentamento e ao erro de off-set.(...) Analisando os controladores criados, verifica-se que tanto na entrada quanto nas duas saídas, foram mudados os tipos de funções de pertinência e os espaçamentos delas, também variou-se o valor de setpoint para ver como se comportaria o nível do prato da base da coluna. Nada disso foi suficiente para obter uma resposta satisfatória.”

A partir do trecho em destaque, é possível perceber que a mesma conclusão referente ao erro de *off-set* apresentada no relatório do aluno da turma de 2010-1 foi constatada pelo aluno de 2011-1. Em função dessa percepção, aparentemente comum, mas que se apresenta em dois contextos diferentes, é possível ratificar a importância do experimento no equipamento para a consolidação de conceitos apresentados durante as aulas expositivas.

No segundo parágrafo da conclusão, é possível perceber que o aluno realiza tentativas de mudança no intuito de atingir o objetivo proposto, demonstrando a capacidade investigativa autônoma. Essa capacidade é bastante requerida, atualmente, nas organizações, ou seja, o engenheiro é capaz de se adaptar a situações não previstas, “engenheirando” em busca da melhor solução para o problema que se apresenta.

Mapas conceituais

Na Figura 45, é apresentado o perfil dos mapas conceituais elaborados pelo aluno da turma de 2011-1.

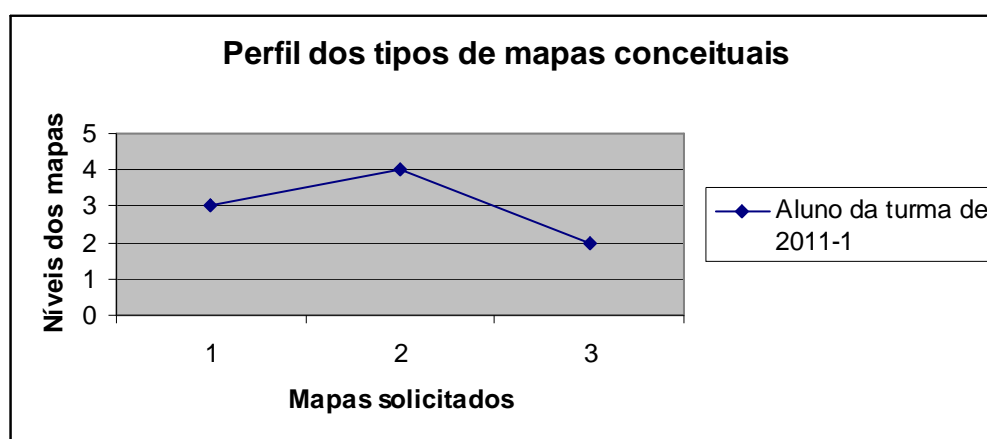


Figura 45. Evolução dos mapas conceituais do aluno da turma de 2011-1.

Percebe-se que os níveis atribuídos aos mapas entregues pelo aluno da turma de 2011-1 possuem uma distribuição na forma de pirâmide. Após uma melhoria na construção do primeiro para o segundo mapa, o aluno apresenta uma queda na qualidade da produção.

Para as turmas de 2010-2 e 2011-1, os alunos não apresentaram o quarto mapa solicitado. A análise foi realizada com a quantidade de mapas entregues, mantendo o protocolo de investigação estabelecido.

O terceiro mapa, construído pelo aluno, corresponde ao mapa sobre lógica e controle *fuzzy*. Esse mapa é solicitado depois de percorrida metade do semestre letivo, porém, ainda não concluídas as aulas expositivas relacionadas ao tema. Essa pode ter sido uma das causas da queda de produção do segundo para o terceiro mapa.

No capítulo 7, são apresentadas as conclusões e considerações finais sobre este trabalho de tese, bem como sugestões para trabalhos futuros e desdobramentos da pesquisa.

7. Conclusões

A pesquisa em educação deve ser pautada na identificação do campo empírico ou público alvo a que se destina o processo de ensino-aprendizagem. A experimentação pedagógica é a ferramenta necessária para validação ou, pelo menos, identificação de evidências de modificação da aprendizagem em qualquer estudo desenvolvido com foco na educação. Uma proposta pedagógica que possua suas bases bem fundadas em teorias da aprendizagem, bem como a utilização dessas teorias como norteadores na concepção do experimento pedagógico e para operar como lente de aumento na posterior análise dos resultados. Tendo em vista esses direcionamentos, o trabalho apresentado nesta tese surge como uma alternativa ao modelo pedagógico predominante vigente na engenharia de controle e automação no Brasil, quiçá, no mundo.

Os resultados obtidos a partir da aplicação do experimento pedagógico se propõem a fornecer sustentação para a análise qualitativa sobre a influência do modelo pedagógico proposto no processo de ensino-aprendizagem dos alunos de um curso de engenharia de controle e automação. Esses resultados apontam para uma potencial utilização do modelo pedagógico e, sobretudo, da plataforma tecnológica proposta na prática docente desse curso de engenharia.

Os resultados obtidos pelo instrumento SERVQUAL demonstram que o nível de aceitação, por parte dos alunos, da plataforma tecnológica proposta para experimentação da prática profissional é elevado. Esse nível de aceitação foi mensurado a partir do desvio entre expectativa e percepção da utilização da plataforma tecnológica, sendo que na maior parte dos itens do questionário a percepção supera positivamente a expectativa, corroborando a hipótese de que a plataforma propicia a aprendizagem significativa sob a ótica dos alunos.

É possível perceber, a partir dos resultados do instrumento mapas conceituais que a maior parte dos alunos, acompanhados pelo instrumento, são capazes de desenvolver mapas conceituais do tipo 2 e 3, que, segundo o Quadro 2, apresentam elementos importantes dentro da TAS. Esses elementos sugerem que há indícios da aprendizagem significativa para os alunos durante o semestre letivo.

O instrumento de levantamento de subsunçores foi utilizado para fornecer evidências ao docente do conhecimento prévio armazenado nas estruturas cognitivas dos

alunos e, com base nessa informação, a produção de material potencialmente significativo. Para além dessa utilização, o mesmo instrumento permitiu concluir de forma geral que os alunos que ingressam na disciplina de controle avançado do curso de engenharia de controle e automação possuem, em sua maioria, os subsunçores necessários para a assimilação dos novos conceitos que serão apresentados durante o semestre letivo. Essa é uma conclusão de particular interesse por conexão direta com as premissas estabelecidas por Ausubel *et al.* (1978) como condições necessárias para manifestação da aprendizagem significativa.

A análise qualitativa dos instrumentos pesquisa-texto, solução de problemas e relatório do aluno permitiram identificar indícios de elementos de compreensão e também a generalização dos conceitos assimilados pelos alunos durante as aulas expositivas. Os resultados apresentados por esses instrumentos permitem concluir que os alunos desenvolveram, de forma relevante, a aprendizagem significativa dos conteúdos estudados em função da manipulação e autoria das produções solicitadas. A compreensão e generalização, são supostamente evidenciadas a partir do poder de auto-crítica presente nos relatórios cognitivos entregues e das conclusões acerca das informações assimiladas presentes no texto dissertativo e no relatório de tarefas dos alunos.

O objetivo da quantificação dos resultados é tão somente apresentar de forma mais clara um extrato da presença de elementos da aprendizagem significativa. Os mapas conceituais têm papel importante na pesquisa, pois conseguem captar a organização dos conceitos e suas relações, caracterizando uma fotografia das estruturas cognitivas dos alunos relacionada ao tema proposto.

O modelo pedagógico foi apresentando na sua completude e os resultados do experimento para sua validação foram registrados e analisados sob a luz da TAS. Após análise, foi possível perceber que os alunos possuem subsunçores adequados para favorecer a aprendizagem significativa dos conceitos de controle avançado. O extrato dos mapas conceituais permite concluir positivamente com relação à sua utilização como mecanismo de avaliação da aprendizagem.

Em função do exposto, conclui-se que o trabalho de tese atingiu os objetivos iniciais estabelecidos de: elaborar e propor um modelo pedagógico para a engenharia de controle e automação; validá-lo por meio de um experimento cujos resultados apontam para a

ratificação da proposta pedagógica, bem como destaca o potencial positivo da utilização da plataforma tecnológica proposta.

Desdobramentos

Apesar de o experimento ter sido circunscrito à aplicação em turmas da disciplina de controle avançado, esse experimento pode, virtualmente, ser estendido para outras turmas de outras disciplinas do curso, pois o modelo pedagógico fornece bases para a aplicação em diversos componentes curriculares do curso.

A aplicação do experimento para validação da plataforma em cursos de engenharia de controle e automação em outras instituições de ensino superior no Brasil e no mundo. Esse desdobramento permitirá ampliar o escopo de validação do modelo pedagógico proposto e permitir ou não extrapolações com relações aos resultados encontrados nesse estudo.

Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se a utilização de técnicas de registro do processo de construção dos mapas conceituais, para que se possa elaborar uma análise teórica do mapa no momento em que o aluno o está construindo. Alguns trabalhos já apontam essa tendência Immonen-Orpana e Åhlberg (2008), Daley *et al.* (2008) e Magalhães (2009), utilizando o recurso *Cmap Recorder* do *CmapTool*. Carvalho *et al.* (2011b) apresentam uma abordagem de análise dinâmica por meio da utilização de uma ferramenta de captura de frames para criar um registro temporal da construção dos mapas conceituais, permitindo posterior edição do frames com a inserção de comentários da análise teórica do mapa.

Referências

- ABDULWAHED, M. and NAGY, Z. K. Towards Constructivist Laboratory Education: Case Study for Process Control Laboratory. **In: XXXVIII ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference**, Saratoga Springs - NY, 2008.
- AHLERT, A. A avaliação como um processo interno da prática pedagógica. **In: Caderno de Educação Física: estudos e reflexões**, Marechal Cândido Rondon, v. 4, n. 8, p. 119-125, 2002.
- ALMEIDA, V. O. Mapas conceituais como instrumentos potencialmente facilitadores da aprendizagem significativa de conceitos da óptica física, **Dissertação de Mestrado, PPGEF, UFRGS**, Porto Alegre-RS, 2006.
- ALMEIDA, L. M. W. e FONTANINI, M. L. C. Aprendizagem Significativa em Atividades de Modelagem Matemática: Uma investigação usando Mapas Conceituais, **In: Investigações em Ensino de Ciências – V15(2)**, pp. 403-425, 2010.
- AMORIM, J. A. Aula multimídia com aprendizagem significativa: o modelo de referência AMAS. **In: Revista Iberoamericana de Educació**m. N.º 56 pp. 135-155, 2011.
- AKTAN, B.; BOHUS, C. A.; CROWL, L. A. and SHOR, M. H. Distance learning applied to control engineering laboratories. **In: IEEE Transactions on Education**, New York, v.39, n.3, Aug., p.320-326, 1996.
- ALVES, G.R. e FLORENZA, J. R. Demonstração dos Resultados dos Projetos ALFA LEAL e RexNet, **In: Revista Técnico-científica do IF-SC**, vol.1 n.1, 2009.
- ANDRADE, E. P; BRITO, G. S. X. e OLIVEIRA, M. L. A. Aspectos cognitivos do ensino de engenharia face às exigências da competitividade e da inovação tecnológica. **In: XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Gramado-RS, 1997.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D. and HANESIAN, H. **Educational Psychology: A Cognitive View**, 2nd ed., New York: Holt, Rinehart & Winston. Reprinted, 1986. New York: Warbel & Peck, 1978.
- BASILIO, J. C. A laboratory for a first course in Control Systems. **In: International Journal of Electrical Engineering Education**, vol. 39, no. 1, 2002.

BECKER, F. **Educação e construção do conhecimento**, Ed. Artmed, Porto Alegre-RS, 2001.

BERGGREN, K. F.; BRODEUR, D.; CRAWLEY, E. F.; INGEMARSSON, I.; LITANT, W.T.G.; MALMQVIST, J. and ÖSTLUND, S., CDIO: An international initiative for reforming engineering education, **In: World Transactions on Engineering and Technology Education**, Vol.2, No.1, 2003.

CARVALHO, A. S. e BARONE, D. A. C. Uma plataforma tecnológica para o ensino de engenharia de controle, **In: Anais do XXXVII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE 2009**, Recife-PE, 2009.

CARVALHO, A.S.; BARONE, D. e ZARO, M. A technological platform for the teaching of control engineering. **In: Proceedings IEEE Engineering Education 2010, EDUCON 2010**.pg1147-1552. Madrid-ES – April, 2010.

CARVALHO, A. S.; BARONE, D. A. C. e ZARO, M. A. A aprendizagem significativa no ensino de engenharia de controle e automação. **In: RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação**, v.2, p.1 – 10. 2010b.

CARVALHO, A. S.; BARONE, D. A. C. e ZARO, M. A. Análise dinâmica de mapas conceituais – uma abordagem utilizando o Wink. **In: Anais do VI Congresso Latinoamericano de Objetos de Aprendizagem, LACLO 2011**, Outubro, Montevideo, Uruguay, 2011.

CASINI, M.; PRATTICHIZZO, D. and VICINO, A. E-learning by remote laboratories: a new tool for control education. **In: IFAC Symposium on advances in control education, Finland. University of Oulu**, p.95-100, 2003.

CHURMS, C.L.; SHIN, D.; YOON, E.S.; PARK, S.J. and LEE, E.S. Web-based interactive virtual laboratory system for unit operations and process systems engineering education. **In: Computers and Chemical Engineering**, vol. 24, no. 2-7, pp. 1381-1385, 2000.

CLUME, M. F. e GOMES, F. J. NetControl: Ambiente para controle de processos em tempo real. **In: VII Encontro de Ensino em Engenharia**, Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora-MG, 2001.

COELHO, A. A. R.; ALMEIDA, O. M.; SANTOS, J. E. S. e SUMAR, R. R. Laboratório de Simulação no Ensino de Sinais e Sistemas Lineares. **In: XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**, Porto Alegre – RS, 2001.

CRESPO, L. S. Montagem, Identificação e Modelamento de uma Torre de Destilação Piloto. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, PPGEE, Vitória-ES, 90p, 2000.

DALEY, B. J.; CONCEIÇÃO, S.; MINA, L.; ALTMAN, B. A.; BALDOR, M. and BROWN, J. Advancing concept map research: a review of 2004 and 2006 CMC research. **In Concept Mapping: Connecting Educators Proc. of the Third Int. Conference on Concept Mapping A. J. Cañas, P. Reiska, M. Åhlberg & J. D. Novak**, Eds. Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland, 2008.

DARMOFAL, D. L.; SODERHOLM, D. H. and BRODEUR, D. R. Using Concept Maps and Concept Questions to Enhance Conceptual Understanding. **In: Proceedings XXXII ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference**, Boston, USA, 2002.

DIÉZ, J. L.; VALLÉS, M. and VALERA, A. A global approach for the remote process simulation and control. **In: XV Triennial World Congress**, Barcelona, Spain, 2002.

DYM, C.; AGOGINO, A.; ERIS, O.; FREY, D. and LEIFER, L., Engineering Design Thinking, Teaching, and Learning. **In: Journal of Engineering Education**, vol. 94, no. 1, January, pp. X–Y, 2005.

DORMIDO, R.; VARGAS, H.; DURO, N.; SÁNCHEZ, J.; DORMIDO-CANTO, S.; FARIAS, G.; ESQUEMBRE, F. and DORMIDO, S. Development of a web-based control laboratory for automation technicians: the three-tank system. **In: IEEE Transactions on Education**, New York, v.51, n.1, Feb, p.35-44, 2008.

DUAN, B.; LING, K. V.; MIR, H.; HOSSEINI, M. and GAY, R.K.L. An online laboratory Framework for Control Engineering Courses. **In: International Journal of Engineering Education**, vol. 21, no. 6, pp. 1068-1075, 2005.

DUARTE, C.; FIGUEIREDO, L. e CORRÊA, M. Utilização do MATLAB no Ensino da Tecnologia OPC Aplicada a Controle de Processos. **In: XVI Congresso Brasileiro de Automática – CBA**, Salvador, BA, 2006.

DUTRA, I. e FAGUNDES, L. Un enfoque constructivista para uso de mapas conceptuales em educação a distancia de professores. **In: Concept Maps: Theory, Methodology, Technology Proc. of the First Int. Conference on Concept Mapping** A. J. Cañas, J. D. Novak, F. M. González, Eds. Pamplona, Spain, 2004.

FIGUEIREDO, R. S; SAITO, J. R. e ZAMBOM, A. C. A introdução da simulação como ferramenta de ensino e aprendizagem. **In: XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Salvador-BA, 2001.

GAMBIER, A., Teaching Digital Controllers for Finite Settling Time by Using Model-based Control Education (MBCE) in a Constructivist Framework. **In: Proceedings of the XVII World Congress The International Federation of Automatic Control** Seoul, Korea, July 6-11, 2008.

GONÇALVES, L. J. Uso de animações visando a aprendizagem significativa de física térmica no ensino médio. **Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física** - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2005.

HLAVA, J.; B. ŠULC and J. TAMÁŠ. A Laboratory Scale Plant with Hybrid Dynamics and Remote Access via Internet for Control Engineering Education. **In: Proceedings of the XVI IFAC World Congress**, Elsevier Science, 2005.

HOFFMANN, J. **Avaliação mediadora: uma relação dialógica na construção do conhecimento**. Ed. Mediação, 26ª Edição, 160p, 1994.

IMMONEN-ORPANA, P. and ÅHLBERG, M. Learning, pedagogical thinking and collaborative knowledge building by CmapTools. **In Concept Mapping: Connecting Educators Proc. of the Third Int. Conference on Concept Mapping** A. J. Cañas, P. Reiska, M. Åhlberg & J. D. Novak, Eds. Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland, 2008.

LIU, S.; SOELAEMAN, H. and LEUNG, P. Distance Learning Power Engineering Laboratory. **In: IEEE Computer Applications in Power**. Vol. 12, no 1, pp 51 – 56, 1999.

LODER, L. L. Epistemologia X Pedagogia: o locus do professor de engenharia., **In: XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia** - COBENGE 2001, 2001.

MACHADO, V. e PINHEIRO, N. A. M. Problema gerador de discussões uma metodologia para o ensino em engenharia. **In: Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, vol 2, num. 1, jan./abr, 2009.

MAGALHÃES, A. R. Mapas Conceituais Digitais como Estratégia para o Desenvolvimento da Metacognição no Estudo de Funções, **Tese de doutorado em Educação Matemática**, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUC/SP, 2009.

MÉNDEZ, J. A.; LORENZO, C.; ACOSTA, L.; TORRES, S. e GONZÁLEZ, E. A web-based tool for control engineering teaching. **In: Computer Applications in Engineering Education**, vol. 14, no 3, pp. 178 – 187, 2006.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora da UnB, 2006.

MOREIRA, M. A., Mapas conceituais e aprendizagem significativa, Adaptado e atualizado, em 1997, de um trabalho com o mesmo título publicado em O ENSINO, **Revista Galáico Portuguesa de Sócio-Pedagogia e Sócio-Linguística**, Pontevedra/Galícia/Espanha e Braga/Portugal, N° 23 a 28: 87-95, 1988.

MURPHY, T.; GOMES, V. G. and ROMAGNOLI, A. Facilitating process control teaching and learning in a virtual laboratory environment. **In: Information Technology Based Higher Education and Training**, vol. 10, no 13, july, pp. 756-760, 2002.

NICKERSON, J.V.; J.E. CORTER and S.K. ESCHE. A model for evaluating the effectiveness of remote engineering laboratories and simulations in education. **In: Computers and Education**, vol. 49, no 3, 708-725, 2007.

NOVAK, J. D. and CAÑAS, A. J. The theory underlying concept maps and how to construct them. **In: Technical Report IHMC CmapTools 2006-01, Florida Institute for Human and Machine Cognition**, Acessado em 15 de abril de 2010 em <http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>, 2006.

PARASURAMAN, A.; ZEITHAML, V. A. and BERRY, L. L. Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research, **In: Journal of Marketing**, p. 41-50, 1985.

PELIZZARI, A.; KRIEGL, M. L.; BARON, M. P.; FINCK, N. T. L. e DOROCINSKI, S. I. (2002) Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. **In: Revista PEC**, vol. 2 no 1, 37-42, 2002.

PIAGET, J. **Epistemologia Genética**, Martins Fontes, São Paulo, (Col. Psicologia e Pedagogia), 2007.

PLETT, G. and SCHMIDT, D. Multidisciplinary lab-based controls curriculum. **In: Proceedings of ASEE Annual Conference & Exposition**, Albuquerque-US, 2001.

RIBAS, P. A. V.; SILVEIRA, J. S. and COMIOTO, M. A new paradigm in engineering education in PUCRS. **In: Proceedings of ICEE'98**, Rio de Janeiro-BR, 1998.

RISSOLI, V. R. V. Uma proposta metodológica de acompanhamento personalizado para aprendizagem significativa apoiada por um assistente virtual de ensino inteligente. **Tese de doutorado, PPGIE, Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre-RS, 2007.

RODRIGUES, A. C. G.; BRUCIAPAGLIA, A. H.; RICO, J. E. N. and MELGAREJO, L. F. B. A “Concepts-on” Project on Undergraduate Control Education **In: 15th Triennial World Congress**, Barcelona, Spain, 2002.

SCHAF, F. M.; ECKHARD, D.; SILVA, J. M. G. e PEREIRA, C. E. Uma plataforma de experimentação remota para ensino de controle. **In: XVI Congresso Brasileiro de Automática**, Salvador-BA, 2006.

SCHIMID, C. and ALI, A. A web-based system for control engineering education, **In: Proceedings of the American Control Conference**, Chicago: AACC., pp.3463-3990, 2000.

SCHLEMMER, E. e SIMÃO NETO, A. A construção de redes de significações: dos mapas conceituais aos ‘concept webbing’. **In: IX Congreso Iberoamericano de Informática Educativa - RIBIE**, Caracas – Venezuela, Universidade de Caracas, v. 1. p. 46-56, 2008.

SCHNAID, F.; TIMM, M. I. e ZARO, M. A. Considerações sobre uso de modelo construtivista no ensino de Engenharia - disciplina de projeto, com graduandos e mestrandos. **In: Revista Novas Tecnologias na Educação-RENTE**, Porto Alegre-RS, UFRGS, v. 1, n. 1, 2003.

SILVA, L. P.; CECÍLIO, S. A mudança no modelo de ensino e de formação na engenharia. **In: Educação em Revista**, Belo Horizonte-MG, v. 45. p. 61-80, 2007.

SILVEIRA, F. P. R. A. Levantamento preliminar de habilidades prévias: subsídios para a utilização de mapas conceituais como recurso didático. **In: Revista Eletrônica Experiências em Ensino de Ciência**, v. 3, p. 85-96, 2008.

SIMÕES, A. S.; MARTINS, A. C. G.; CARRION, R. e FRANCHIN, N. Utilizando a plataforma LEGO Mindstorm em disciplinas do ciclo básico do curso de Engenharia Mecatrônica. **In: XXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação**, Campo Grande-MS, 2006.

SOUZA, N. A. S. e BORUCHOVITCH, E. Mapas conceituais: estratégia de ensino/aprendizagem e ferramenta avaliativa. **In: Educação em Revista**. Vol. 26, No.3, Belo Horizonte-MG, 2010.

SOUZA, J. A. e DANDOLINI, G. A. Utilizando simulação computacional como estratégia de ensino: estudo de caso. **In: Revista Novas Tecnologias na Educação**, UFRGS, Porto Alegre-RS, v.7 nº 1, Julho, 2009.

SRINIVASAGUPTA, D. and BABU, J. An Internet-mediated process control laboratory. **In: IEEE Control Systems Magazine**, vol. 23, no. 1, pp. 11-18, 2003.

TAVARES, R. Aprendizagem significativa, **In: Revista Conceitos**, João Pessoa-PB, no 55, p. 10, 2004.

TIMM, M. I. Elaboração de projetos como estratégia pedagógica para o ensino de engenharia curso a distância de projeto no modelo e-learning-by-doing. **Tese de doutorado, PPGIE, UFRGS**, Porto Alegre-RS, 2005.

THAM, M. T. and JONES, R. W. A process engineering virtual teaching environment. **In: International Conference on Engineering Education**, August 18-21, Manchester-UK, 2002.

VALLIM, M. B. R; FARINES, J. e CURY, J. E. R. Em direção à melhoria do ensino na área tecnológica: a experiência de uma disciplina de introdução à engenharia de controle e automação, **In: XIII Congresso Brasileiro de Automática – CBA**, Florianópolis – SC, 2000.

ZEILMANN, R. P. (2002) Uma estratégia para controle e supervisão de processos industriais via Internet. **Dissertação de mestrado, PPGEE, UFRGS, Porto Alegre-RS, 2002.**

ANEXO I

Matriz Curricular Engenharia de Controle e Automação

Períodos		Componentes curriculares	Carga Horária Semanal	Carga Horária (HA)
1°	Núcleo Básico	Álgebra Linear I	4	80
		Cálculo I	4	80
		Física Teórica e Experimental I	4	80
		Gestão Ambiental	2	40
		Lógica Matemática	2	40
		Química para a engenharia	4	80
	Núcleo Profissionalizante	Introdução à Engenharia	2	40
		Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos	4	80
Sub total			26	520
2°	Núcleo Básico	Álgebra Linear II	4	80
		Cálculo II	4	80
		Comunicação e Expressão	2	40
		Desenho Técnico para a Engenharia	4	80
		Física Teórica e Experimental II	4	80
		Introdução à Ciências dos Materiais	4	80
		Probabilidade e Estatística I	2	40
		Técnicas de Programação	4	80
Sub total			28	560
3°	Núcleo Básico	Cálculo III	4	80
		Circuitos Elétricos I	4	80
		Filosofia	2	40
		Física Teórica e Experimental III	4	80
		Probabilidade e Estatística II	2	40
		Termodinâmica	4	80
	Núcleo Profissionalizante	Cálculo Numérico	4	80
		Estrutura de Dados	4	80
Sub total			28	560
4°	Núcleo Básico	Cálculo IV	4	80
		Circuitos Elétricos II	4	80
		Física Teórica e Experimental IV	4	80
		Metodologia Científica	2	40
	Núcleo Profissionalizante	Introdução à Arquitetura e Fundamentos de Computadores	4	80
		Eletrônica I	4	80
		Introdução à Engenharia do Petróleo	2	40
		Técnicas e Sistemas Digitais	4	80

	Sub total		28	560	
5°	Núcleo Básico	Fenômenos de Transporte	4	80	
		Núcleo Profissionalizante	Eletrônica II	4	80
	Fundamentos Matemáticos para Controle		4	80	
	Instrumentação Industrial		4	80	
	Mecânica Geral		4	80	
	Núcleo Específico	Microprocessadores e Microcontroladores	4	80	
		Eletricidade Industrial	4	80	
Sub total			28	560	
6°	Núcleo Básico	Introdução à Mecânica dos Solos	4	80	
		Núcleo Profissionalizante	Equipamentos e Processos Industriais	4	80
	Núcleo Específico		Controladores Lógico Programáveis	4	80
			Processamentos de Sinais	4	80
			Comunicação de Dados	4	80
		Controle I	4	80	
	Sistemas de Transdução	3	60		
Sub total			27	540	
7°	Núcleo Básico	Direito e Legislação	2	40	
		Núcleo Profissionalizante	Gerência de Projetos	2	40
	Núcleo Específico		Controle II	4	80
			Protocolos de Redes Industriais	4	80
			Sistemas Pneumáticos para Automação	4	80
		Controle Digital	4	80	
	Sistemas Supervisórios de Processos Industriais	4	80		
Sub-Total			24	480	
8°	Núcleo Básico	Teoria Geral da Administração	3	60	
		Economia	3	60	
	Núcleo Específico	Controle Avançado	4	80	
		Laboratório de Controle e Automação I	4	80	
		Robótica Industrial	4	80	
		Sistemas Hidráulicas para Automação	4	80	
Sub total			22	440	
9°	Núcleo Específico	Instalações e equipamentos elétricos para atmosferas explosivas	4	80	
		Projeto Final de Curso I	4	80	
		Laboratório de Controle e Automação II	4	80	
	Sub total			12	240
	Núcleo Básico	Administração de Recursos Humanos	2	40	

10°	Núcleo Profissionalizante	Empreendedorismo e Análise de Negociação	2	40
		Segurança e Higiene no Trabalho	3	60
	Núcleo Específico	Projeto Final de Curso II	4	80
	Sub total		11	220

Integralização Curricular: 4520 h/a = 3767 h

Projeto Final – 160 h/a = 133 h

Estágio Curricular – 240 h = 200 h

Optativa – 120 h/a – 100 h

Total: 5040 h/a – 4200 h

ANEXO II

PLANO DE ENSINO

Disciplina: Controle Avançado

Carga Horária: 80h

Período: 8º

Ementa

Fundamentos matemáticos para identificação de sistemas; identificação de sistemas com modelos auto-regressivos e redes neurais artificiais (RNA's). Controle preditivo, controle *fuzzy* e controle auto-ajustável, escalonamento de ganhos em controlador PID (método dos relés em malha fechada e lógica *fuzzy*), otimização de controladores PID e *fuzzy* por meio de algoritmos genéticos.

Objetivos

Aprendizagem acerca de identificação de sistemas através de modelos paramétricos, com auxílio de ferramentas computacionais. Projeto e simulação de sistemas de controle avançado utilizando os modelos obtidos na etapa de identificação, com auxílio de ferramentas computacionais. Aplicação e validação do sistema de controle simulado em planta de processo piloto (coluna de destilação).

Conteúdo

Parte I – Identificação de sistemas

1. Fundamentos matemáticos em identificação de sistemas
 - 1.1. Redes neurais artificiais
 - 1.1.1. Fundamentos de RNA's
 - 1.1.2. Modelos de neurônios e RNA's
 - 1.1.3. Algoritmos de treinamento de redes multicamadas
 - 1.1.4. Modelagem de sistemas dinâmicos com RNA's
 - 1.2. Modelos auto-regressivos
 - 1.2.1. Fundamentos de séries temporais e estimador de mínimos quadrados
 - 1.2.2. Modelos ARX, ARMAX, NARX e NARMAX
 - 1.2.3. Métodos para a seleção da ordem do modelo
 - 1.2.4. Validação de modelos e análise de resíduos
 - 1.3. Estudo de caso
 - 1.3.1. Coluna de destilação piloto (aquisição de dados em sistema real)
 - 1.3.2. Demais processos industriais (dados de *benchmark*)

Parte II – Controle Preditivo

2. Introdução ao controle preditivo

2.1. Tipos de controladores preditivos

2.2. DMC – controle por matriz dinâmica

2.3. GPC – controle preditivo generalizado

2.4. Implementação do GPC em processo industrial

2.5. MPC – controle preditivo multivariável

2.6. Aplicação e validação em sistema real (coluna de destilação piloto)

Parte III – Controle *Fuzzy*

3. Lógica e controle *fuzzy*

3.1. Funções de pertinência, universo de discurso e interfaces

3.2. Blocos funcionais de um controlador *fuzzy*

3.2.1. *Fuzzy*ificação

3.2.2. Defuzzyificação

3.2.3. Mecanismo de inferência

3.2.4. Base de regras

3.3. Projeto e simulação de controladores *fuzzy*

3.4. Aplicação e validação de controlador *fuzzy*

3.4.1. Controle *fuzzy* de nível de coluna de destilação piloto

3.4.2. Controle *fuzzy* de temperatura e pressão de coluna de destilação piloto

Bibliografia Básica

Haykin, S. *Redes Neurais. Princípios e prática*. Porto Alegre: Bookman (2001). (tem na biblioteca)

Shaw, I. S. e M. G. Simões. *Controle e Modelagem Fuzzy*. FAPESP, Editora Edgard Blücher LTDA (1999).

Campos, M. M. & Saito, K. *Sistemas Inteligentes em Controle e Automação de Processos*, Editora Ciência Moderna (2004).

Bibliografia Adicional

Braga, A. P., A. C. P. L. F. Carvalho, & T. B. Ludermir, *Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações*. Rio de Janeiro, Brasil: LTC Press (2000).

Aguirre, L. A., *Introdução à Identificação de Sistemas: técnicas lineares e não lineares aplicadas a sistemas reais*. Belo Horizonte: Editora UFMG (2000).

ANEXO III

Questionário de levantamento de subsunções para controle avançado.

Nome:

Curso:

Período:

- 1 – Qual é a diferença entre controle e automação?
- 2 – O que você entende por realimentação em sistemas de controle?
- 3 – Fale sobre modelagem de sistemas.
- 4 – Quais os elementos constituintes de uma malha de controle em processos industriais? Exemplifique estes elementos com modelos comerciais.
- 5 – Fale sobre sistemas de comunicação e aquisição de dados em sistemas de controle.
- 6 – Diferencie os métodos convencionais dos não convencionais para desenvolvimento de sistemas de controle.
- 7 – Como você imagina que os sistemas inteligentes (inteligência artificial) podem contribuir para a modelagem e controle de sistemas?
- 8 – Em que situações são aplicadas as estratégias de controle: cascata, split-range e override?
- 9 – Para que serve a teoria de controle moderno?
- 10 – Qual a principal diferença do controle clássico para o controle digital?

ANEXO IV

Esclarecimentos sobre o questionário

Este questionário tem como objetivo a verificação entre a expectativa e a percepção do usuário no que diz respeito a utilização da ferramenta tecnológica utilizada na disciplina de controle avançado. Entende-se por ferramenta ou plataforma a associação do software MATLAB com os sistemas existentes nos laboratórios de controle (a coluna). A partir desta pesquisa será possível verificar a importância da plataforma utilizada no ensino de engenharia de controle, e de que forma ela contribui para o processo de ensino-aprendizagem e o desenvolvimento de competências necessárias para o engenheiro de controle e automação.

Ao preencher este questionário o aluno deve atentar para o fato que inicialmente deve marcar as opções pensando no fato de que não conhece a plataforma e o que espera dela (Expectativa). Num segundo momento o preenchimento deve levar em conta que já se conhece a plataforma e o que foi percebido a respeito dela (Percepção).

Preencham o questionário em formato eletrônico alterando a cor do fundo da célula da tabela correspondente a sua opção e ao final salvar o arquivo com o nome do aluno e fazer *upload* no grupo do google da disciplina de controle avançado, ou enviar para o e-mail do professor Adelson adelsonsc@gmail.com

Grato pela contribuição e no aguardo da resposta.

Att, Adelson Siqueira Carvalho.

Questionário de avaliação da disciplina de controle avançado.

Identificação:

Nome:

Curso:

Período:

Qual a sua **Expectativa** (E) em relação ao desempenho da ferramenta utilizada para realização de suas atividades? Responda marcando um valor de 1 a 7. Se você **concorda** fortemente com a afirmação da questão, marque o número 7. Se você **discorda** fortemente marque 1. O 4 é considerado **neutro**. Caso contrário marque um dos números intermediários (2, 3, 5 ou 6).

1 – Você manuseia com facilidade computadores.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

2 – A plataforma tecnológica utilizada facilitou nas tarefas a serem realizadas.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

3 – A plataforma tecnológica utilizada é indispensável para realização das tarefas.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

4 – A plataforma foi relevante para a sedimentação dos conceitos trabalhados em sala de aula.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

5 – A plataforma tecnológica é de fácil manuseio.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

6 – A plataforma tecnológica possui os recursos necessários para realização das tarefas.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

7 – A plataforma tecnológica auxilia no desenvolvimento de competências necessárias à sua formação profissional.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

8 – A plataforma tecnológica utilizada facilitou na etapa de validação do sistema de controle projetado no sistema real.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

9 – A plataforma tecnológica utilizada facilitou na etapa de modelagem do sistema a ser controlado.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

10 – A plataforma tecnológica utilizada proporcionou a utilização de recursos não disponíveis em sistemas comerciais para o controle de sistemas.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

Qual a sua **Percepção (P)** em relação ao desempenho da ferramenta utilizada para realização de suas atividades? Responda marcando um valor de 1 a 7. Se você **concorda** fortemente com a afirmação da questão, marque o número 7. Se você **discorda** fortemente marque 1. O 4 é considerado **neutro**. Caso contrário marque um dos números intermediários (2, 3, 5 ou 6).

1 – Você manuseia com facilidade computadores.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

2 – A plataforma tecnológica utilizada facilitou nas tarefas a serem realizadas.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

3 – A plataforma tecnológica utilizada é indispensável para realização das tarefas.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

4 – A plataforma foi relevante para a sedimentação dos conceitos trabalhados em sala de aula.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

5 – A plataforma tecnológica é de fácil manuseio.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

6 – A plataforma tecnológica possui os recursos necessários para realização das tarefas.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

7 – A plataforma tecnológica auxilia no desenvolvimento de competências necessárias à sua formação profissional.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

8 – A plataforma tecnológica utilizada facilitou na etapa de validação do sistema de controle projetado no sistema real.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

9 – A plataforma tecnológica utilizada facilitou na etapa de modelagem do sistema a ser controlado.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

10 – A plataforma tecnológica utilizada proporcionou a utilização de recursos não disponíveis em sistemas comerciais para o controle de sistemas.

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

ANEXO V



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
FLUMINENSE
Campus Campos-Centro

Secretaria de Educação
Profissional e Tecnológica

Ministério
da Educação

CURSO DE ENGENHARIA EM CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Relatório de atividade do aluno

Nome:

Data:

Período:

Nome da atividade:

Objetivo da atividade:

Palavras-chave:

RELATÓRIO

Aspectos tecnológicos	Aspectos cognitivos

ANEXO VI

Controle Avançado e as aplicações na área de Controle e Automação

A utilização de sistemas inteligentes em Controle é de grande interesse. Com o crescente aumento no grau de sofisticação das atividades humanas surgiu a necessidade de automatizar ou semi-automatizar determinados processos. Contudo, com o avanço da tecnologia, os sistemas e processos ficaram ainda mais complexos e isso desencadeou em uma busca por novos métodos e estratégias, dentre eles, os sistemas de controle inteligente.

Esses sistemas fazem uma adaptação dos valores de entrada e saída para uma base de regra que interliga todas as entradas e saídas, formando assim uma base de regras robusta que cria um sistema de inferência que contempla todas as possíveis entradas. São feitos inúmeros ensaios para verificar se as regras, algoritmos de controle, aplicadas são satisfatórias as saídas reais do processo. Os sistemas inteligentes são utilizados para solucionar casos em que o Controle Clássico não pode atender ou porque requereria de uma dificuldade muito maior para fazê-lo. Uma das grandes dificuldades é encontrar um bom modelo. Isto exige de nós, futuros Engenheiros, um maior empenho no intuito de se identificar um modelo coerente com o processo.

Por todo material lido, a aplicabilidade do Controle Avançado em nosso curso é muito ampla, mas ainda pouco conhecida. Os desafios em aprimorar e administrá-la, por ser uma tecnologia relativamente nova, década de 70, faz com que os estudos tenham que ser cada vez mais difundidos e direcioná-los no intuito de ter um número expressivo de adeptos.

Na indústria Petroquímica, de cimento, controle de braços robóticos, torres de secagem, coluna de destilação, planta de PVC, foram exemplos de aplicabilidade de sistemas inteligentes encontrados. A pesar dos exemplos, as resistências em usar esta tecnologia frente as já conhecidas são muitas, seja

pela facilidade de lidar com uma tecnologia já experimentada, seja pelo desconhecimento da aplicabilidade ou pela falta de capacitação.

Aluno XXXXXXXXX

users.dca.ufrn.br/artigos/Induscon_AVANCADO.pdf
portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0541_05.pdf