

PROPOSTA DE CURSO INTRODUTÓRIO DE NANOTECNOLOGIA PARA ALUNOS DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA

Bruno Barazani – bruno.barazani@poli.usp.br

Delson Torikai – delson.torikai@poli.usp.br

Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Mecatrônica.

Av. Prof. Mello Moraes, 2231.

CEP: 05508-030 – São Paulo – SP

***Resumo:** Este artigo tem como objetivo descrever e analisar a disciplina de pós-graduação PMR5410 - Nanotecnologia I oferecida pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da USP, bem como verificar a importância de se criar um curso de introdução sobre Nanotecnologia para alunos de graduação de Engenharia e estudar a viabilidade da transição da disciplina em estudo para a graduação. Para se obter resultados mais expressivos, uma pesquisa de opinião foi feita com os alunos e uma entrevista foi realizada com o coordenador da disciplina. Foram analisados: objetivos, estratégias de ensino, métodos de avaliação, conteúdo programático e importância do tema da disciplina em questão. Verificou-se que a matéria possui um plano de ensino bem elaborado, coerente com os objetivos da Instituição à qual ela pertence. Além disso, concluiu-se que é importante a criação de uma disciplina sobre Nanotecnologia para graduandos de Engenharia e que é possível utilizar o curso analisado como base para o desenvolvimento da nova disciplina.*

***Palavras-chave:** Nanotecnologia, Ensino de engenharia, Plano de disciplina.*

1. INTRODUÇÃO

A Nanotecnologia é hoje um dos campos científicos com maior concentração de atividades de pesquisa e desenvolvimento. Países desenvolvidos investem fortemente no setor que visa obter o controle da matéria em escala nanométrica, ou seja, na escala de 1 bilionésimo do metro (10^{-9} metros). A Nanotecnologia se caracteriza pela abrangência de campos tecnológicos e científicos aos quais pode ser aplicada. Nos últimos anos, a nova tecnologia tem causado grande impacto nas áreas de Engenharia, Medicina, Biologia, Farmácia, Química, entre outras.

Os negócios envolvendo Nanotecnologia têm crescido rapidamente. Em 2004, os produtos que incorporavam nanotecnologia correspondiam a um valor relativamente pequeno em vendas - em torno de 10 bilhões de dólares. A estimativa é de que esse valor possa ultrapassar 500 bilhões de dólares em 2010 (ROGERS et al., 2008) e que entre 2010 e 2015 o mercado mundial para materiais, produtos e processos industriais baseados em Nanotecnologia seja de 1 trilhão de dólares. Em 2008, mais da metade das 30 empresas do índice industrial Dow Jones já tinham lançado algum tipo de Nano iniciativa (ROGERS et al., 2008).

Na área de ensino, também se observam mudanças e novidades relacionadas a esse novo campo de estudo. A procura por cursos de pós-graduação em Micro e Nanotecnologia cresce acentuadamente. Universidades do mundo inteiro têm investido bastante na área através da criação de departamentos ou centros de pesquisa como é o caso do Centro de Engenharia e

Ciências em Nano escala da Universidade de Columbia e também do Centro Birck de Nanotecnologia da Universidade de Purdue. Algumas instituições já começam a instruir seus alunos sobre o tema durante a graduação dos mesmos. O tradicional Instituto de Tecnologia de Massachusetts, MIT, leciona a disciplina *Micro/Nano Processing Technology* para alunos de graduação do curso de Engenharia Elétrica e Ciência da Computação e também para os alunos de Ciências dos Materiais e Engenharia. A Universidade de Toronto no Canadá se destaca por ter criado o primeiro curso de Nanoengenharia do mundo. Mais um exemplo, é o curso de graduação em Engenharia Física oferecido pela Universidade Wisconsin-Madison no qual os alunos escolhem entre 3 focos tecnológicos para sua especialização: Nanoengenharia, Ciência e engenharia do Plasma e Computação Científica. Os sites dos cursos e disciplinas citados estão descritos nas referências bibliográficas.

O Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo oferece, desde 2006, a disciplina PMR5410: Nanotecnologia I. O objetivo principal é introduzir o aluno ao campo da Nanociência e da Nanotecnologia. Nesses poucos anos de existência a disciplina obteve alta procura chegando a ter mais de 20 alunos matriculados.

No entanto, a análise apenas do tema de uma disciplina não permite concluir sobre sua qualidade. O conteúdo juntamente com os objetivos, estratégias de ensino e métodos de avaliação fazem parte do plano de uma disciplina (ABREU & MASETTO, 1990). O objetivo deste trabalho é analisar o plano de ensino da disciplina PMR5410: Nanotecnologia I, bem como concluir sobre a importância da criação de um curso para a graduação nas Engenharias nos mesmos moldes do curso analisado. Para se obter um resultado mais expressivo nesse estudo, foi realizada uma pesquisa de opinião respondida por alunos que já cursaram a disciplina, além de uma entrevista com o coordenador da matéria.

2. PLANO DE DISCIPLINA DE PMR5410 - DESCRIÇÃO E ANÁLISE

A organização do plano de disciplina nos itens a seguir é baseada na descrição proposta por ABREU, M. C.; MASETTO, M. T. (1990). No decorrer do artigo serão apresentados, através de gráficos, resultados da pesquisa de opinião respondida por cerca de 30% da população total dos alunos que já cursaram Nanotecnologia I. Além disso, o Professor Dr. Delson Torikai, coordenador da disciplina, concedeu uma entrevista, que também será explorada no decorrer do artigo.

2.1 IDENTIFICAÇÃO

A principal finalidade da identificação da disciplina é facilitar a comunicação entre emissor (professor da disciplina) e receptores (outros professores e alunos). Além disso, a identificação permite a criação de um registro para consultas futuras (ABREU & MASETTO, 1990).

Segue abaixo, características importantes na identificação da disciplina em estudo. Observa-se que essas características correspondem ao oferecimento da disciplina nos anos de 2006 a 2010.

Tabela 1- Identificação da disciplina.

Nome da disciplina	Nanotecnologia I.
Curso	Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica.
Faculdade	Escola Politécnica.
Universidade	Universidade de São Paulo.
Professores	Delson Torikai, Ricardo Cury Ibrahim, Oswaldo Horikawa.
Período de oferecimento	1º período (Março a Junho).
Carga horária	1 aula semanal de 3 horas de duração.

A quantidade de alunos matriculados na matéria ao longo dos anos é mostrada na tabela abaixo.

Tabela 2 - Número de alunos matriculados em Nanotecnologia I.

Ano	Nº de alunos
2006	16
2007	23
2008	24
2009	18
2010	13
Média	18,8

A tabela acima mostra uma média de quase 20 alunos matriculados por ano na disciplina, o que é um número alto de alunos se comparado às outras disciplinas oferecidas pelo Programa de Pós-graduação da Instituição.

2.2 OBJETIVOS

Os objetivos de uma disciplina são descrições que indicam, precisamente, o que o aluno que participou adequadamente deve ser capaz de fazer ao final do curso. Definir os objetivos é um das tarefas mais importantes na criação de uma disciplina uma vez que são eles que orientam o professor a selecionar o conteúdo, escolher as estratégias de ensino e os métodos de avaliação que serão adotados (ABREU & MASETTO, 1990).

O objetivo da disciplina de Nanotecnologia I, segundo o Prof. Dr. Delson Torikai, é informar e potencializar o aluno com relação ao campo da Nanociência e Nanotecnologia: o que é, como se faz, aplicações atuais e de curto prazo, perspectivas como meio produtivo (gerador de riquezas), implicações na sociedade (ética) e meio ambiente. Segundo ele, o objetivo tem sido atingido, nesses anos de oferecimento, devido ao retorno obtido dos alunos em discussões e conversas durante e no final das aulas.

Na pesquisa feita com os alunos que já cursaram a disciplina, mais de 85% disseram que atingiram o objetivo cognitivo do curso que é aprender os principais conceitos e aplicações da Nanotecnologia. Esse objetivo é o de maior interesse para os educadores de Engenharia, uma vez que o domínio cognitivo está envolvido com pensamento, conhecimento e aplicação de conhecimento (WANKAT & OREOVICZ, 1992).

2.3 CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

O conteúdo de uma disciplina é importante, pois é por intermédio dele que os alunos atingem os objetivos propostos (ABREU & MASETTO, 1990). No entanto, existe uma tendência a se valorizar demais o conteúdo de um curso, fazendo com que todos os outros fatores da disciplina se submetam a ele. O correto, na verdade, é que o conteúdo seja visto como o instrumento necessário para que o objetivo do curso seja atingido pelos alunos.

O conteúdo da disciplina Nanotecnologia I, escolhido pela equipe de professores que ministra a matéria, é apresentado na tabela seguinte.

Tabela 3 - Conteúdo Programático de Nanotecnologia I.

Aula	Conteúdo
1	Conceito de Nanociência e Nanotecnologia → A escala das dimensões; a multidisciplinaridade e abrangência da nanotecnologia e das novas propriedades advindas com o mundo nano;
2	Instrumentação → Princípios de funcionamento das Microsondas por ponta de prova: STM, AFM, ... , e dos Microscópios eletrônicos de varredura e de transmissão;
3	Nanomateriais → Introdução a novos campos de pesquisas e desenvolvimentos dos materiais já existentes; prospecção de novos materiais; visualização para novas aplicações; Nanotecnologia e nanociência na eletrônica, opto-eletrônica e tecnologia da formação e instrumentação;
4	Mecânica de Precisão, Interferometria e Nanometrologia → As técnicas de observação e manipulação de nano-coisas, medidas e controles na escala nanométrica;
5	Paradigma da nano-fabricação: de cima para baixo Vs de baixo para cima → Limites do processamento por miniaturização no encontro com o processo de síntese e montagem a partir de átomos e moléculas na fabricação de dispositivos; Micro-nano-fabricação → Processamentos litográficos e micro-litográficos; técnicas de corrosão e deposição;
6	Bio-nanotecnologia e Nanomedicina → Avanços no conhecimento das estruturas e da medicina biológica; desenvolvimento de novos processos de diagnoses e entrega de medicamentos “in situ”;
7	Aplicações práticas da Nanotecnologia hoje e projeções futuras;
8	Ética, Sociedade e Meio-Ambiente relacionado à Nanotecnologia.

Como pode ser observado, o conteúdo da disciplina se divide em um assunto diferente por aula, e tem como referência básica o livro “O mundo NANOMÉTRICO: a dimensão do novo século” do Prof. Dr. Henrique Eisi Toma, Professor Titular do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, publicado em 2004. Portanto, os alunos recebem um conteúdo amplo, diversificado, porém não muito aprofundado, o que permite concluir que a distribuição do conteúdo programático está de acordo com os objetivos da disciplina, uma vez que se trata de um curso introdutório sobre determinado tema.

O Professor Dr. Delson Torikai, em entrevista concedida, disse que ano a ano pequenas alterações do programa são feitas devido à grande dinâmica que se observa em processos (e novos processos) e produtos nanotecnológicos.

A pesquisa realizada com os alunos que já cursaram a disciplina de Nanotecnologia I resultou no gráfico da figura 1, o qual analisa a opinião do aluno sobre o conteúdo da matéria.

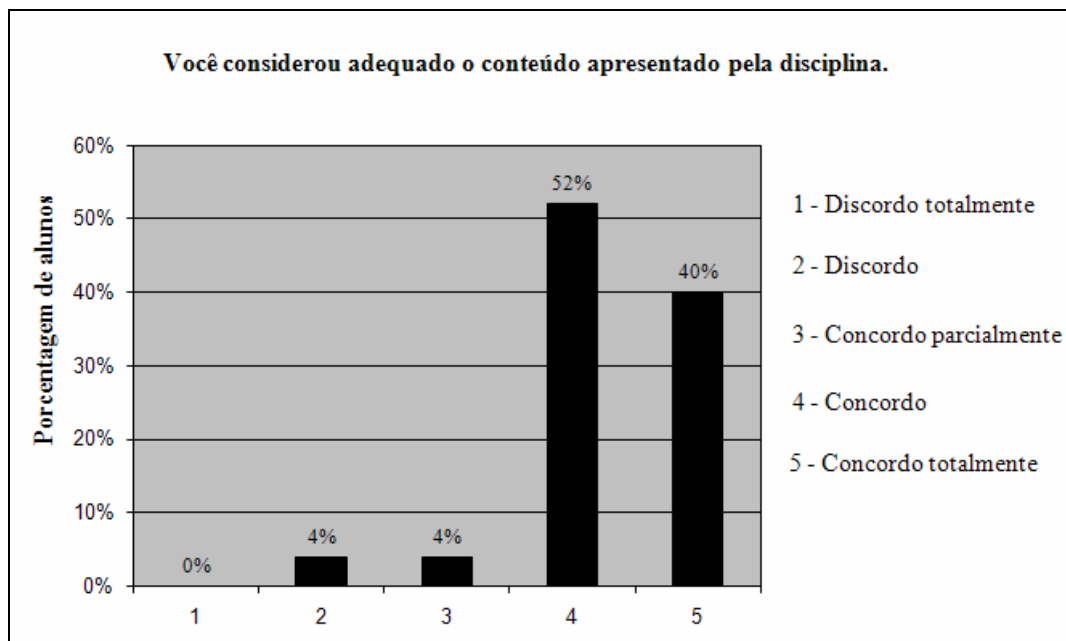


Figura 1 - Opinião dos alunos sobre o conteúdo da disciplina.

Analisando o gráfico, conclui-se que somente 4% dos alunos que responderam a pesquisa não consideraram adequado o conteúdo programático da matéria.

2.4 ESTRATÉGIAS

As estratégias de aprendizagem são os métodos escolhidos pelo professor para expor o conteúdo da disciplina aos alunos, como por exemplo: aulas expositivas, debates, estudos de caso entre outras (ABREU & MASETTO, 1990). O professor deve saber utilizar bem as estratégias de ensino que adota e sempre se manter atualizado - fazendo cursos ou se informando - sobre novas e melhores técnicas. Além disso, a variação de estratégias de ensino motiva o aluno. Já a adoção de um mesmo método de dar aula, mesmo que muito bom, acaba desmotivando o aluno no decorrer da disciplina.

No caso da matéria em foco nesse trabalho, a estratégia utilizada são aulas expositivas e a discussão do tema exposto com os alunos. Um dos intuitos do debate sobre o tema é encontrar uma relação entre o trabalho de pesquisa individual dos alunos com processos, técnicas ou produtos nanotecnológicos.

O Professor Delson revelou que no próximo oferecimento (2011) pretende-se distribuir um resumo com referências dos temas a serem abordados na aula seguinte. Essa medida, além de aumentar o tempo da aula dedicada à discussão, irá também permitir um maior aprofundamento sobre o tema exposto. O método da discussão ajuda o aluno a analisar, sintetizar e pensar criticamente melhor, por outro lado o tempo gasto pode ser grande e pode ser difícil de obter a participação dos alunos, particularmente alunos de Engenharia (WANKAT & OREOVICZ, 1992).

O grupo de alunos que respondeu à pesquisa também se declarou a respeito da estratégia de ensino do curso. Segue gráfico com o resultado da pesquisa na figura 2.

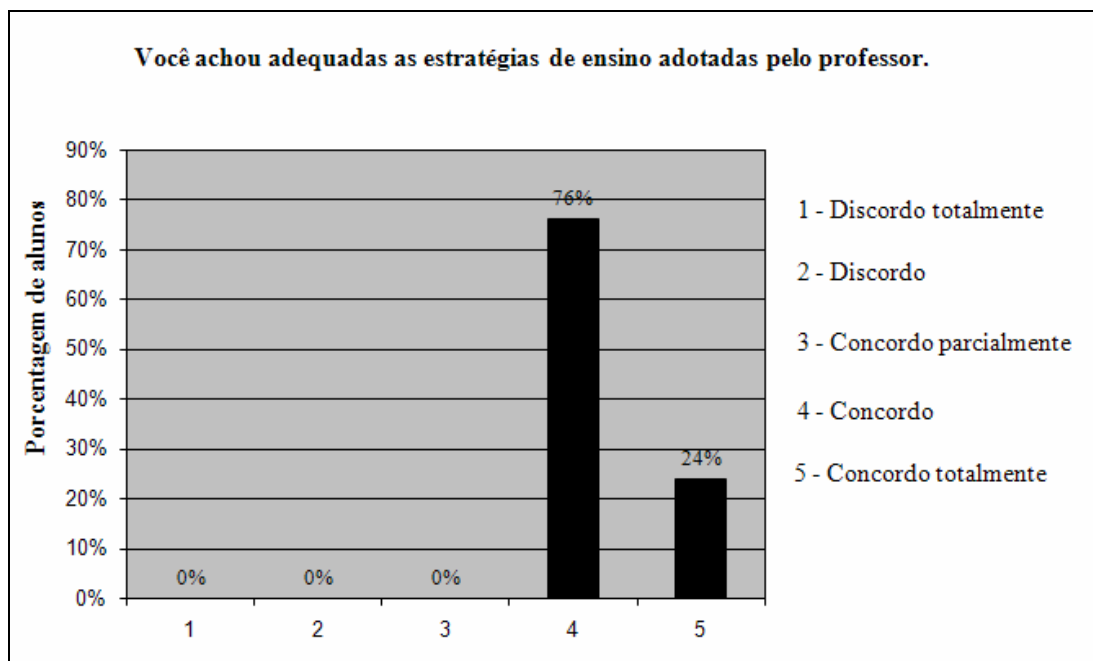


Figura 2 – Opinião dos alunos sobre as estratégias usadas no curso.

A partir do gráfico, verifica-se que a totalidade dos alunos considerou adequados os métodos de ensino aplicados pelo professor.

2.5 AVALIAÇÃO DOS ALUNOS E DA DISCIPLINA

O processo de avaliação é parte integrante fundamental do processo de aprendizagem e os critérios utilizados na definição dos métodos de avaliação - o que avaliar e como avaliar - devem estar de acordo com os objetivos propostos pela disciplina (ABREU & MASETTO, 1990). Em suma, a avaliação é o meio utilizado pelo professor para determinar se os alunos alcançaram os objetivos.

Existem várias maneiras de se avaliar o aluno. Cada um desses modos é mais adequado dependendo do que se deseja medir: conhecimentos, habilidades ou atitudes. A prova com questões objetivas, por exemplo, é o método clássico de se medir conhecimentos.

Em Nanotecnologia I há 3 tipos de avaliação: participação em sala, seminário e monografia. O tema do seminário deve, de preferência, relacionar o tema de pesquisa do aluno com algum campo da Nanotecnologia e a monografia, feita nos moldes de uma Dissertação, deve contemplar o assunto do seminário. Esse modo de avaliação, além de medir o conhecimento adquirido pelo aluno, avalia a sua habilidade de comunicar conhecimento, tanto escrita quanto oralmente.

No gráfico da figura 3 abaixo, é possível observar a opinião dos alunos sobre o modo de avaliação adotado.

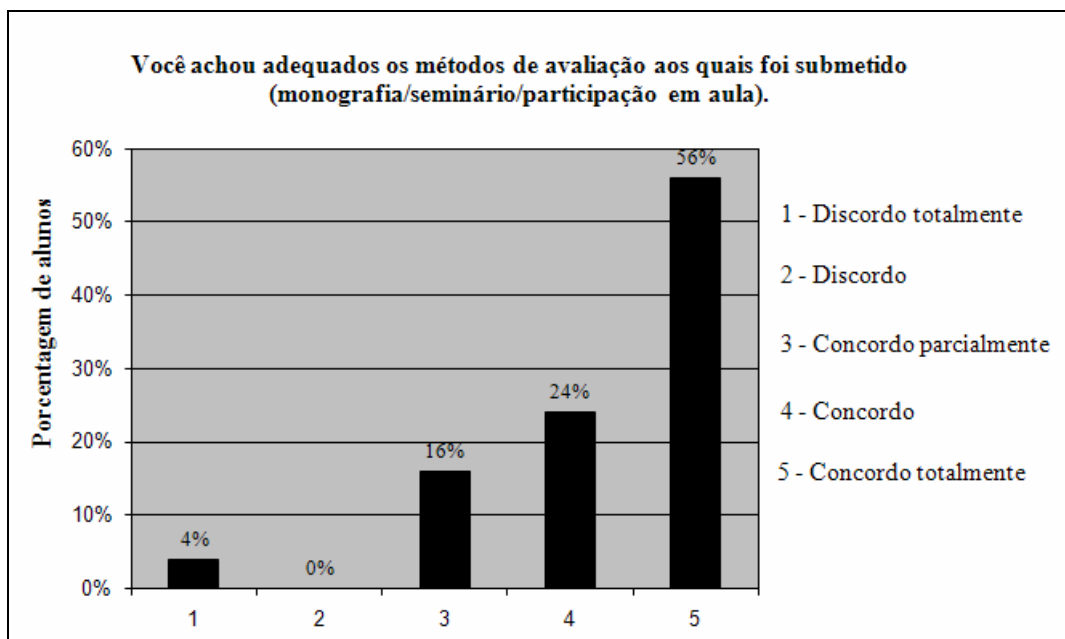


Figura 3 - Opinião dos alunos sobre os métodos de avaliação da disciplina.

Conforme o gráfico, 80% dos alunos que responderam à pesquisa concordaram que os métodos de avaliação foram adequados. A pesquisa também pediu a opinião dos alunos sobre a relação entre o tema de pesquisa deles e o tema da disciplina. Veja o resultado obtido no gráfico da figura 4 a seguir.

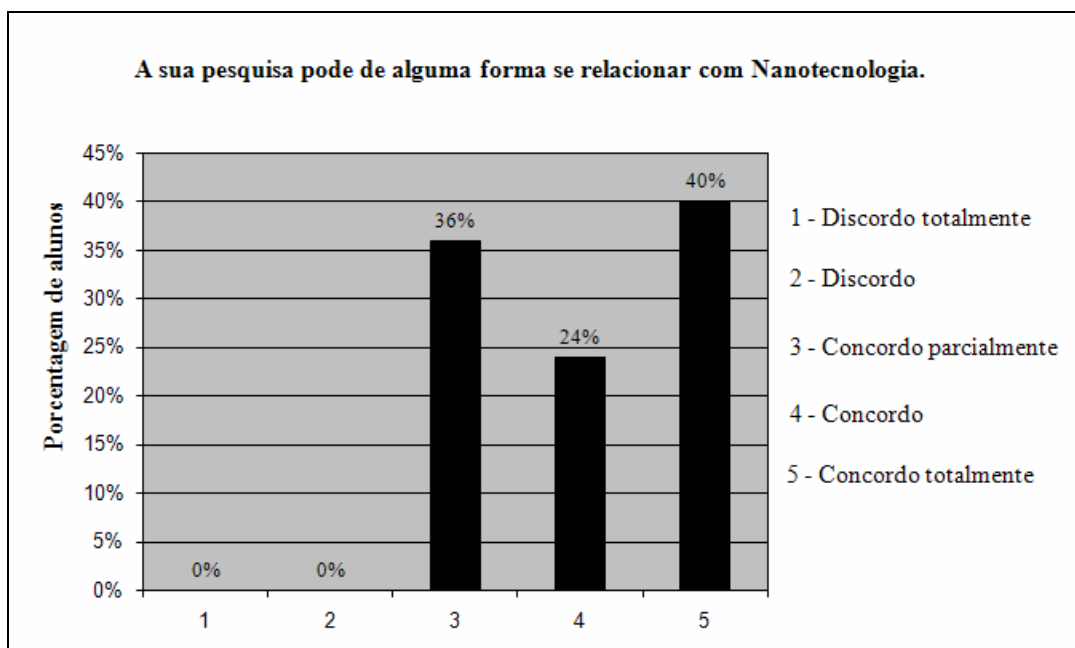


Figura 4 - Opinião dos alunos sobre a relação entre a pesquisa dos alunos e a Nanotecnologia.

Analisando-se o gráfico, observa-se que mais de 60% dos alunos que opinaram concordaram haver alguma relação entre os temas.

Assim como a avaliação dos alunos é fundamental para o processo de aprendizagem, a avaliação da disciplina também tem a sua importância. O curso deve ser analisado constantemente a fim de sempre estar se aprimorando e se adequando às novas técnicas de

ensino ou às novas descobertas sobre o tema ensinado. A disciplina bem avaliada deve ser aquela cujo planejamento de ensino está adequado aos seus objetivos. Esses objetivos por sua vez devem estar de acordo com a missão da instituição à qual pertence a disciplina. A matéria discutida nesse trabalho pertence ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da USP que tem como objetivos básicos, segundo a sua página na Internet, a formação de:

- Docentes para cursos superiores;
- Pesquisadores para a área técnica - científica;
- Profissionais especializados para o meio produtivo.

O objetivo da disciplina Nanotecnologia I, descrito anteriormente, é, portanto, coerente aos objetivos do curso ao qual está inserida, já que instrui o aluno sobre uma das mais valorizadas e recentes áreas de pesquisa, além de ensinar aplicações do tema para o meio produtivo. Uma das maneiras de se avaliar uma disciplina é a utilização de questionários ou pesquisas de opinião para alunos, assim como foi feito neste estudo.

3. NANOTECNOLOGIA I PARA GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA

Segundo o Professor Dr. Delson Torikai, a Nanotecnologia pode ser considerada a última grande evolução na área tecnológica industrial e é hoje um dos principais focos das atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação em todos os países industrializados. Como se estima um mercado mundial de mais de 1 trilhão de dólares para materiais, produtos e processos industriais baseados em nanotecnologia para os próximos anos, é importante que os alunos que terminam a graduação em Engenharia, nos dias atuais, já tenham noções sobre o tema. “Ou seja, se nossos graduandos não entrarem no mercado de trabalho com uma noção do que é Nanotecnologia, como se faz Nanotecnologia, quais as aplicações e implicações da Nanotecnologia, eles terão uma grande desvantagem no mercado de trabalho”. - disse o Professor.

Os alunos também se manifestaram sobre o oferecimento da disciplina na graduação. Segue o resultado da pesquisa no gráfico da figura 5.

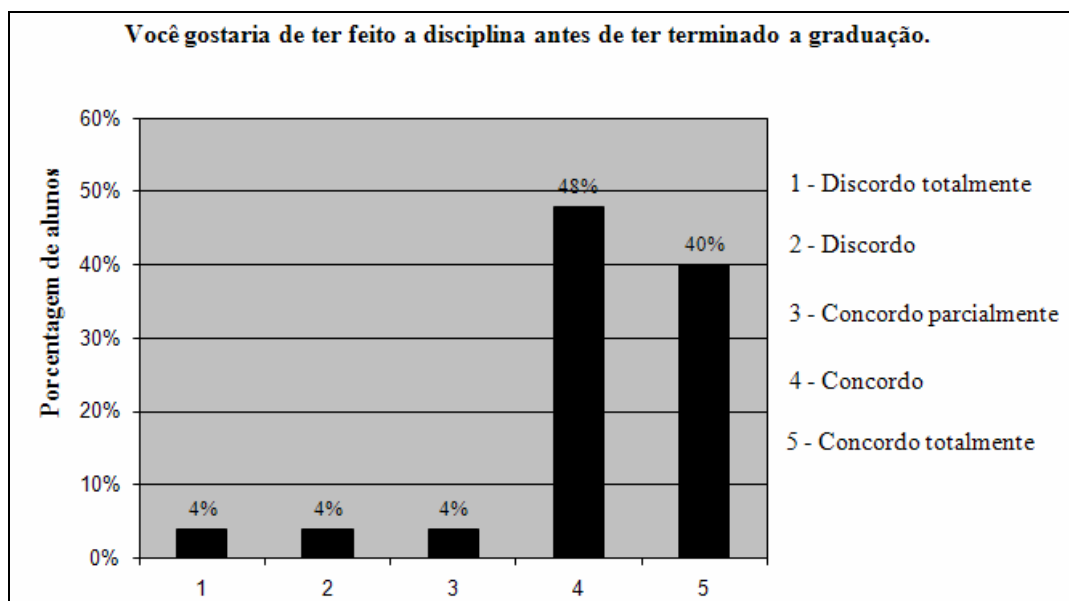


Figura 5 - Opinião dos alunos sobre o oferecimento do curso na graduação.

Observando o gráfico, nota-se que 88% dos alunos concordam que desejariam ter feito a disciplina durante a graduação em Engenharia.

No entanto, o Professor também enunciou algumas dificuldades na transição da disciplina para a graduação. Ele destacou que o trâmite burocrático para isso é complicado e demorado se comparado com a criação do curso para pós-graduação, cuja implementação é bem mais flexível. Além disso, seria necessário fazer modificações na estruturação do curso, uma vez que a quantidade de alunos por classe na graduação é bem maior do que na pós-graduação. Segundo ele, os métodos de avaliação utilizados, na forma de seminário e monografia, se tornariam impraticáveis devido ao número elevado de alunos. Em razão disso, ele sugere a avaliação através de projetos/trabalhos em grupo (pesquisa) e provas analítico-dissertativas, porém ele defende a manutenção do conteúdo programático.

Perguntado em que momento da graduação a disciplina deveria ser oferecida aos alunos de Engenharia, ele disse que o ideal seria após o ciclo básico (2 primeiros anos geralmente), pois acredita que para um bom aproveitamento do curso, seriam importantes os conhecimentos básicos de física, química e ciência dos materiais.

4. CONCLUSÃO

Conclui-se que a disciplina PMR5410 - Nanotecnologia I possui um plano de ensino bem elaborado. O resultado da pesquisa de opinião realizada com alunos que já cursaram a disciplina revelou que a maior parte deles concordou com os métodos de avaliação, estratégias de ensino e conteúdo programático utilizados. Some-se a isso, o fato do objetivo da disciplina ser coerente com as metas da Instituição e o resultado da pesquisa - confirmando a opinião do Professor Dr. Delson - indicando que os objetivos da disciplina são atingidos pelos alunos ao final do período letivo.

Além disso, conclui-se que é importante concentrar esforços na tentativa de se criar um curso introdutório de Nanotecnologia para graduandos de Engenharia. Cursos de Engenharia renomados, como o do MIT, já oferecem disciplinas sobre o tema para seus graduandos. Mais ainda, as opiniões tanto dos alunos que participaram da pesquisa como do Professor Dr. Delson Torikai, especialista no assunto, convergem sobre a intenção da criação de uma disciplina sobre Nanotecnologia para a graduação. Nesse sentido, a disciplina de Pós-graduação PMR5410 - Nanotecnologia I poderia ser utilizada como molde para o desenvolvimento da nova matéria, sofrendo algumas modificações para se adequar ao ensino na graduação dos cursos de Engenharia.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. C.; MASETTO, M. T. **O professor universitário em aula: prática e princípios teóricos**. São Paulo: MG Ed. Associados, 1990.

COLUMBIA. Disponível em <<http://www.cise.columbia.edu/nsec/>> Acesso em: 12/06/2010.

MIT. Disponível em <<http://student.mit.edu/catalog/m6a.html#6.152>> Acesso em: 12/06/2010.

MIT. Disponível em <<http://student.mit.edu/catalog/m3a.html#3.155>> Acesso em: 12/06/2010.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. MECÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP. Disponível em <<http://www.usp.br/ppgem/?q=pt-br/content/introdu%C3%A7%C3%A3o>>. Acessado em 12/06/2010.

PURDUE. Disponível em <<https://engineering.purdue.edu/Engr/AboutUs/Giving/MasterFacilitiesPlan/birck.html>> Acesso em: 12/06/2010.

ROGERS, B.; PENNATHUR, S.; ADAMS, J. **Nanotechnology: Understanding Small Systems**. Boca Raton: CRC Press, 2008.

TORONTO. Disponível em <<http://www.prospective.engineering.utoronto.ca/skule/undergraduate/engsci/options.htm>> Acesso em: 12/06/2010.

WANKAT, P. C.; OREOVICZ, F. S. **Teaching Engineering**. New York: Mcgraw-Hill Book Company, 1992.

WISCONSIN-MADISON. Disponível em <<http://www.engr.wisc.edu/ep/engrphys/>> Acesso em: 12/06/2010.

PROPOSAL OF NANOTECHNOLOGY INTRODUCTORY COURSE FOR UNDERGRADUATE STUDENTS

Abstract: *This article aims to describe and analyse the discipline PMR5410 - Nanotecnologia I, offered to graduate students by the Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da USP. The study, also, investigate the importance of creating an introductory course about Nanotechnology for undergraduate students and the feasibility to modify the studied discipline into the undergraduation molds. In order to have expressive results, an opinion poll was conducted with the students and the coordinator of the discipline was interviewed. Objectives, learning strategies, evaluation methods and content of the course were analyzed. It was verified that the discipline has a well structured plan, coherent to the objectives of the Institution which it belongs. Moreover, it was showed the importance of offering a subject about Nanotecnology to undergraduate students, and that this new discipline could be based on the model of the one analyzed in this article.*

Key-words: *Nanotechnology, Engineering learning, discipline plan.*