

RICARDO VENICIO CUZZIOL DE CARVALHO

**PREVISÃO TECNOLÓGICA A
MÉDIO/LONGO PRAZOS SOBRE A
EVOLUÇÃO DAS PROPRIEDADES E DE
MERCADO DOS POLÍMEROS DE
ENGENHARIA**

Dissertação apresentada ao Departamento de Tecnologia de Polímeros, Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia dos Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Wagner dos Santos Oliveira

CAMPINAS

2011

i

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

C253p Carvalho, Ricardo Venicio Cuzziol de
Previsão tecnológica a médio/longo prazos sobre a
evolução das propriedades e de mercado dos polímeros
de engenharia / Ricardo Venicio Cuzziol de Carvalho. --
Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Wagner dos Santos Oliveira.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

1. Prospecção. 2. Delphi, Método. 3. Polímeros. 4.
Polipropileno. I. Oliveira, Wagner dos Santos. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Química. III. Título.

Título em Inglês: Technology foresight in the medium /long-term evolution of
properties on the market and engineering polymers

Palavras-chave em Inglês: Forecast, Delphi method, Polymers, Polypropylene

Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Materiais

Titulação: Mestre em Engenharia Química

Banca examinadora: Rubens Maciel Filho, Giancarlo Nuti Stefanuto

Data da defesa: 19-05-2011

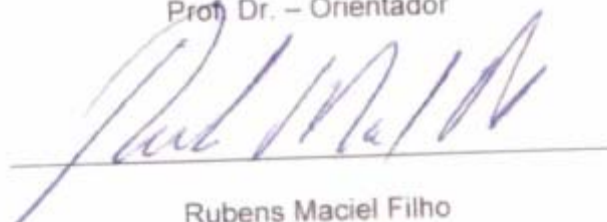
Programa de Pós Graduação: Engenharia Química

Folha de Aprovação

Dissertação de Mestrado ou Tese de Doutorado defendida por Ricardo Venicio Cuzziol de Carvalho , e aprovada em 19 de Maio de 2011, pela banca examinadora constituída pelos doutores:



Wagner dos Santos Oliveira
Prof. Dr. – Orientador

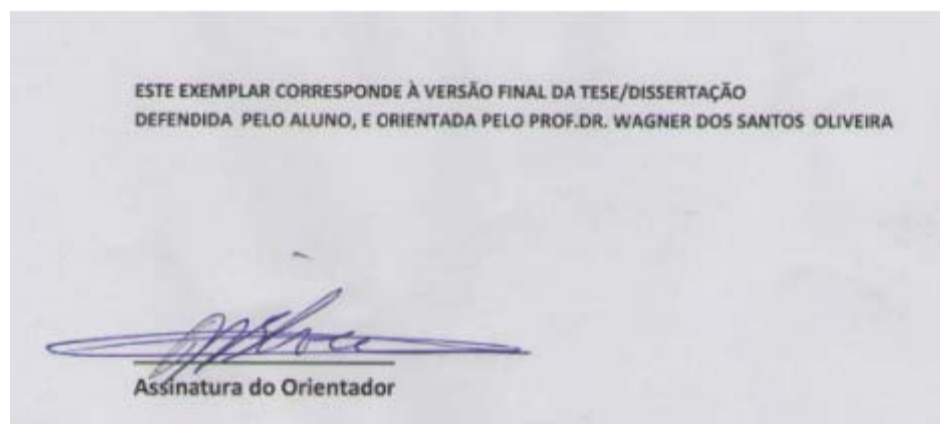


Rubens Maciel Filho
Prof. Dr.(titular)



Giancarlo Nuti Stefanuto
Prof. Dr. (titular)

Folha de Versão Final



AGRADECIMENTOS

À minha esposa Kamila, à minha irmã Flávia, à minha mãe Marisa e a meu pai Francisco, pela ajuda, incentivo e revisão deste texto.

Ao Prof. Dr. Wagner dos Santos Oliveira pela paciência, confiança, orientação e coordenação deste trabalho.

Aos Professores da Banca Examinadora, pelas críticas e sugestões que certamente engrandecem este trabalho.

À DuPont do Brasil S.A. nas pessoas do Diretor do Departamento de Polímeros de Engenharia Horácio Kantt, do Vice-Presidente do Departamento de Polímeros de Performance John Jansen e da Gerente de Soluções Flexíveis Loraine Antunes, pelo suporte durante o tempo de curso.

Ao Departamento de Tecnologia de Polímeros da Faculdade de Engenharia Química da Unicamp, pela oportunidade de realizar este curso de mestrado.

RESUMO

A indústria em geral e particularmente o segmento plástico enfrentam uma época de competitividade global e acirrada. Além disso, pressões sociais como a questão ambiental, eficiência energética e busca por produtos de qualidade são fatores que impulsionam a demanda por inovações e aprimoramentos constantes. Dentro do mercado dos polímeros, os plásticos de engenharia representam a fatia de materiais com melhor potencial para estes aprimoramentos. É objetivo deste trabalho avaliar as principais tendências de melhoria de propriedades, novas tecnologias de modificação e reforços, novas aplicações potenciais e volumes de consumo para os representantes dessa classe de materiais para os próximos 20 a 30 anos. O primeiro material selecionado para este estudo foi o *Nylon 66*, devido à sua grande versatilidade de modificação e aplicação além de ser um dos principais representantes dos polímeros de engenharia. O polipropileno também foi selecionado devido à sua grande versatilidade e possibilidade de utilização em aplicações de engenharia, especialmente na forma de compostos. A técnica de prospecção tecnológica utilizada foi o método Delphi que se baseia em um questionário enviado a especialistas da área em rodadas consecutivas para a obtenção de um consenso. O anonimato dos participantes, análise estatística dos resultados e *feedback* aos respondentes são as principais características deste método. Um questionário envolvendo os aspectos tecnológicos e mercadológicos foi elaborado e enviado aos respondentes em duas rodadas. São observadas nos resultados obtidos tendências de crescimento no mercado de polímeros de engenharia em aplicações de alta temperatura e em substituição aos materiais convencionais como os metais e cerâmicas, principalmente no mercado automotivo, industrial e eletroeletrônico. Avanços em propriedades como performance termo-mecânica e balanço entre rigidez e tenacidade além de inovações nas tecnologias de manufatura e moldagem dos polímeros de engenharia foram indicados como tendências futuras. Medidas para superar obstáculos em custos, definição de políticas públicas e privadas que viabilizem atividades de reciclagem, capacitação e mão de obra e o alinhamento entre indústria, academia e governo serão fundamentais para o sucesso dos polímeros de engenharia nas suas mais diversas aplicações.

Palavras chave: Método Delphi, Prospecção Tecnológica, Polímeros de Engenharia, Nylon 66, Polipropileno.

ABSTRACT

Industry in general and the plastics segment in particular are facing a time of global and strong competition. Also, social claims like environmental care, energy efficient technologies and the need for high quality products are boosting innovations and improvements. On the plastics market, engineering polymers are the best suited materials for these improvements. It is the objective of this work to evaluate the tendencies for improved properties, new modification and reinforcement technologies, new potential applications and volumes of commercialization for this class of materials over the next 20 to 30 years. The first material selected for the research was Nylon 66 due to its huge ease of modification and versatility for application, in addition it is one of the most important engineering polymers. Polypropilene was also selected due to its versatility and possibility of utilization in engineering applications, specially in compounds. Delphi method was used as the research technique, it is based on a questionnaire sent to experts in polymers in successive rounds as a means of achieving consensus. Anonymity of participants, statistical evaluation of results and feedback to the experts are the main characteristics of this method. A questionnaire covering technological and market aspects was developed and sent to the participants in two rounds. It is seen in the results a tendency of growth in the market of engineering polymers for high temperature applications and in traditional materials replacement, like metals and ceramics, specially in the automotive, industrial and electro-electronic markets. Improvements in properties like thermomechanical performance and balance between stiffness and toughness in addition to technology innovations in manufacturing and molding of engineering polymers were pointed as future tendencies. Measures to overcome cost issues, public and private policy implementation to facilitate recycling, work force qualification and alignment between industry, academy and government will be vital for the success of engineering polymers in their various applications.

Key words: Delphi Metod, Technological Forecast, Engineering Polymers, Nylon 66, Polypropilene.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução dos materiais de construção no tempo - Baseado em: Ashby, 2005.....	6
Figura 2 - Desenvolvimento de materiais poliméricos ao longo do século XX. Fonte: Engineering Thermoplastics: Overview - Encyclopedia of Polymer Science and Technology, v.02, p. 322	7
Figura 3 - Classificação dos polímeros e volumes relativos. Fonte: DuPont (2007)	7
Figura 4 - Grupo amida característico das Poliamidas. Fonte: Ram, 1997	9
Figura 5 - Posicionamento dos diversos polímeros de engenharia quanto a volumes e preços. ...	10
Figura 6 - Estrutura do Polipropileno. Fonte: Ram, 1997	12
Figura 7 - Tipos de Polipropileno: a) Isotático; b) Sindiotático; c) Atático. Fonte: Machado, 2002	12
Figura 8 - Artigos acadêmicos encontrados por material. Fonte: Science Direct em www.sciencedirect.com acesso em 29/03/2010	15
Figura 9 - Destino aproximado da venda de polímeros. Fonte: Perfil 2008 - Abiquim	21
Figura 10 - Fluxograma de Condução do Método Delphi.....	24
Figura 11 - Exemplo de página de pesquisa criada com o sistema <i>Question Pro</i>	32
Figura 12 - Exemplo de tela do <i>software</i> Minitab.....	34
Figura 13 - Exemplo de gráfico <i>box-plot</i> e como apresenta a divisão das notas	35
Figura 14 - Distribuição dos contatados	36
Figura 15 - Distribuição dos respondentes	37
Figura 16 - Resultados da questão 1	38
Figura 17 - Notas médias e desvios padrão para os fatores listados na questão 2.....	40
Figura 18 - Distribuição de notas por fator referente à questão 2	41
Figura 19 - Notas médias e desvios padrão para as propriedades listadas na questão 3	42
Figura 20 - Notas médias e desvios padrão para as áreas de aplicação referentes à questão 5.....	45
Figura 21 - Produção mundial de veículos. - Fonte: www.oica.net (acesso em 31/03/2011)	46
Figura 22 - Respostas da questão 6	47
Figura 23 - Notas médias e desvios padrão para as principais ameaças referentes à questão 7....	49
Figura 24 - Distribuição de notas por ameaça referentes à questão 7	49
Figura 25 - Novos aprimoramentos e percentuais referentes à questão 8	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo da visão estratégica para a Indústria do Plástico. Fonte: Estudo Prospectivo: Plásticos - ABDI.....	2
Tabela 2 - Propriedades do <i>Nylon 66</i> sem reforço, com 30% de fibras de vidro e modificado ao impacto. Fonte: Manuais Técnicos DuPont.....	10
Tabela 3- Principais Propriedades do PP e compostos. Fonte: Propylene Polymers - Encyclopedia of Polymers Science and Technology, v. 11	13
Tabela 4 - Aplicações dos polímeros de engenharia. Fonte: Manuais técnicos Sabic, Solvay e DuPont.....	15
Tabela 5 - Classificação dos métodos e técnicas prospectivos. Fonte: Porter et. al. (2003)	17
Tabela 6 - Diretrizes de Ação para a Indústria do Plástico. Fonte: Estudo Prospectivo: Plásticos - ABDI	31

LISTA DE ABREVIATURAS

- ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
- ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química
- ABS – Terpolímero de Acrilonitrila-Butadieno-Estireno
- ArPA – Poliamida Aromática
- COC – Copolímero de Olefina Cíclica
- ETFE – Copolímero Tetrafluoroetileno-Etileno
- FEP – Copolímero Tetrafluoroetileno-Hexafluoropropileno
- LCP – Polímero de Cristal Líquido
- OICA – Organização Internacional dos Fabricantes de Automóveis
- PA – Poliamida, *Nylon*
- PA 6 – Poliamida 6
- PA 66 – Poliamida 66
- PAI – Poliamida-imida
- PAR – Poliarilamida
- PBT – Poli (tereftalato de butileno)
- PC – Policarbonato
- PE – Polietileno
- PE – UHMW – Polietileno de Ultra-Alto Peso Molecular
- PEAD – Polietileno de Alta Densidade
- PEBD – Polietileno de Baixa Densidade
- PEI – Poli (éter-imida)
- PEN – Poli (naftalato de etileno)
- PES – Poli (éter-sulfona)

PET – Poli (tereftalato de etileno)

PFA – Copolímero Tetrafluoroetileno-Éter Vinílico Perfluorado

PI – Poliimida

PK – Policetona

PMMA – Poli (metil meta-acrilato), acrílico

POM – Poli (óxido de metileno), Poliacetal

PP – Polipropileno

PP GF – Polipropileno Reforçado com Fibras de Vidro

PPA – Poliftalamida

PPE – Éter de Polifenileno

PPO – Poli (óxido de fenileno)

PPS – Poli (sulfeto de fenileno)

PPSU – Poli (fenil sulfona)

PS – Poliestireno

PSU – Polissulfona

PTFE – Poli (tetra flúor etileno)

PVC – Poli (cloreto de Vinila)

SAN – Copolímero de Estireno-Acrilonitrila

SPS – Poliestireno Sindiotático

Tg – Temperatura de Transição Vítea

TPE – Termoplástico Elastomérico de Engenharia

UV – Radiação Ultra Violeta

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Objetivos.....	3
2	Revisão Bibliográfica	5
2.1	O mundo dos plásticos.....	5
2.2	Polímeros de engenharia.....	7
2.2.1	Poliamidas.....	9
2.2.2	Polipropileno.....	11
2.2.3	Outros polímeros de engenharia	14
2.3	Metodologias de prospecção tecnológica	16
2.4	O método Delphi.....	18
2.4.1	Questionário.....	22
2.4.2	Respondentes	25
2.4.3	Anonimato.....	26
2.4.4	Rodadas de envio do questionário	26
2.4.5	Análise dos dados e <i>feedback</i>	27
3	Metodologia do estudo.....	29
3.1	Especialistas da indústria	29
3.2	Especialistas acadêmicos	30
3.3	Envio dos questionários	32
3.4	Seleção dos respondentes.....	33
3.5	Análise dos dados	33
4	Resultados e Discussão	36
5	Conclusões	53
6	Sugestões para trabalhos futuros	55
7	Bibliografia	74

1 INTRODUÇÃO

As opiniões da sociedade estão passando por profundas alterações. Maior preocupação com o meio ambiente, necessidade de se utilizar os recursos com mais eficiência (fazer mais com menos), desenvolver alternativas energéticas sustentáveis, reduzir a dependência do petróleo como fonte de energia e matéria prima são exemplos de tendências de evolução para questões cotidianas nos próximos anos.

Dessa forma, os diversos setores da sociedade e da economia, precisam, ou ainda mais, têm a obrigação de refletir e adequar-se de forma a poderem se alinhar a estas tendências e continuarem a suprir as necessidades de seus clientes.

Particularmente no setor plástico estas observações têm um impacto grande. Os materiais poliméricos são vistos atualmente como vilões ambientais, têm uma dependência direta do petróleo como fonte de matérias primas, peças e utensílios plásticos passam a impressão de baixa qualidade. Ainda mais, com o aumento da globalização, onde a competitividade é mais acirrada e nem sempre a concorrência está bem identificada, a indústria do plástico deve estar atenta às novas oportunidades, novos desenvolvimentos e se preparar para atuar em projetos diferenciados e de maior valor agregado.

Conforme o Estudo Prospectivo: Plásticos (2009), é preciso que os empresários deste setor reflitam e encontrem formas de aumentar a competitividade do setor de plásticos brasileiro tanto internamente como internacionalmente.

A indústria do plástico é considerada pelo Governo Brasileiro como um dos segmentos a serem contemplados nos "Programas para Fortalecer a Competitividade", sendo que a visão estratégica para este segmento foi definida como: "ser uma competidora de excelência, nos mercados interno e externo, como inovação, integração e equilíbrio entre os atores dos diferentes elos da cadeia de valor, seguindo padrões técnicos, éticos, legais e socioambientais", como pode ser visto na Tabela 1. Uma das formas de se atingir esta visão é se preparar para o futuro ao invés de se basear no passado e simplesmente agir para alcançar resultados imediatos.

O grande volume de utilização de polímeros está nas aplicações de consumo como embalagens e utensílios domésticos. Porém alguns dos maiores avanços tecnológicos ocorrem nas aplicações de engenharia que, apesar de representarem aproximadamente 12% do volume de plásticos utilizados mundialmente (ENGINEERING THERMOPLASTICS: OVERVIEW, v. 02, p. 307, 2010), podem contribuir para uma maior compreensão destes materiais e para a melhoria

da competitividade da indústria, uma vez que permitem a obtenção de peças e componentes de maior valor agregado.

Tabela 1 - Resumo da visão estratégica para a Indústria do Plástico. Fonte: Estudo Prospectivo: Plásticos - ABDI

Visão	Ser uma competidora de excelência, nos mercados interno e externo, com inovação, integração e equilíbrio entre os atores dos diferentes elos da cadeia de valor, seguindo padrões técnicos, éticos, legais e socioambientais		
Estratégia Síntese	Integrar a cadeia produtiva do plástico de forma a capacitar o setor de transformação no desenvolvimento sustentável de produtos e processos altamente competitivos no mercado interno e externo, por meio de talentos, tecnologias, infraestrutura e investimentos, mantendo contínuo processo de inovação para o setor.		
Foco Estratégico	Objetivos Estratégicos		
Gestão Empresarial e Produtividade (GEP)	Capacitar as empresas para elevar a produtividade da indústria brasileira de transformação de plástico e garantir o padrão de competitividade mundial		
	Atuar de forma integrada junto aos diferentes elos da cadeia de valor, inclusive com os fabricantes de máquinas, equipamentos e periféricos, e à jusante até o consumidor final		
	Capacitar os empresários para gestão estratégica e os gestores intermediários para gestão operacional nas empresas de transformação		
	2007 (Elementos de destaque)	Diretrizes de Ações	2022 (Elementos de destaque)
	Grande capacidade instalada de transformação e elevada disponibilidade de matérias-primas	Identificar e desenvolver competências para competir nos mercados de <i>commodities</i> e produtos diferenciados	A indústria está com maior inserção global na exportação e atua de forma ativa e regular no mercado internacional
	Disposição dos participantes da cadeia petroquímica, dos fabricantes de equipamentos e consumidores para integrar os elos da cadeia produtiva dos plásticos	Promover a integração da cadeia produtiva para aumentar a competitividade	A sinergia entre os elos da cadeia facilita os desenvolvimentos e a prospecção de novos mercados
Boa capacidade para formação de talentos em nível de graduação e pós-graduação	Fortalecer e integrar as capacitações de gestão nos níveis estratégico, tático e operacional nas empresas de transformação, incluindo os processos SMS - Saúde, Meio Ambiente e Segurança	Existência de competência gerencial nos diferentes níveis da empresa com os processos de negócios desenvolvidos de forma integrada	

Os mais recentes desenvolvimentos em nanotecnologia, biotecnologia, biodegradabilidade, novos tipos e técnicas de reforço e modificação permitiram aos polímeros uma penetração substancial em aplicações nobres até então dominadas por materiais convencionais como metais, cerâmicas e vidros.

Na área de engenharia os polímeros têm desempenhado cada vez mais um papel de alternativa econômica, que propicia maior eficiência energética e de combustíveis, que proporciona maior facilidade de reciclagem e maior produtividade.

De fato, os volumes de consumo tanto dos polímeros chamados de *commodities* quanto dos polímeros de engenharia, apresentam tendência de crescimento anual da ordem de 5 % a 7%, especialmente em aplicações de substituição dos materiais convencionais (ESTUDO PROSPECTIVO: PLÁSTICOS, 2009). Porém são os materiais poliméricos de engenharia que

apresentam as maiores vantagens devido às suas maiores resistências mecânica e térmica, o que favorece a substituição dos materiais convencionais.

1.1 Objetivos

Em um ambiente de grande competitividade como o do cenário descrito anteriormente, a inovação contínua é fator imprescindível para manter a vantagem competitiva. Isto só é possível através do conhecimento e exploração da tecnologia mais atual e do desenvolvimento de capacidades organizacionais e pessoais (NIELSEN, 1997 citado por DREJER e RIIS, 1999).

O objetivo deste trabalho é o de avaliar as tendências de evolução de alguns dos principais materiais plásticos de engenharia (polímeros de engenharia) para os próximos vinte a trinta anos. Deseja-se estimar quais propriedades sofrerão as maiores alterações, tipos de reforços e modificações a serem desenvolvidos, principais aplicações e volumes de consumo.

Como a mudança organizacional e cultural de uma empresa pode levar até 10 anos (DREJER e RIIS, 1999), um cenário futuro de 20 a 30 anos pode prover ferramentas adequadas para os profissionais do setor de plásticos brasileiro de forma que possam tomar decisões de direcionamento de seus negócios e garantir a sobrevivência e competitividade de suas empresas.

Para este estudo será utilizado o método Delphi de prospecção tecnológica para a obtenção de um consenso entre especialistas na área a respeito das questões propostas.

1.2 Estrutura do Trabalho

Para se atingir estes objetivos, o presente trabalho está organizado em capítulos conforme delineado nos próximos parágrafos.

O Capítulo 2 trata da revisão bibliográfica acerca do tema. Inicia-se com uma visão geral do mundo dos plásticos, sua evolução ao longo da história e principais tipos existentes. A seguir estuda-se com maior profundidade os plásticos de engenharia, ilustrando suas propriedades diferenciadas, possibilidades de aplicação em substituição aos materiais convencionais e posicionamento de mercado. Os materiais selecionados para este estudo, *Nylon 66* e Polipropileno, são caracterizados quanto às suas propriedades, estruturas químicas e possibilidades de aplicação.

Ainda no Capítulo 2, são apresentadas e discutidas as diversas técnicas de prospecção tecnológica, seus objetivos, vantagens e desvantagens e critérios de seleção. O método Delphi de

Prospecção Tecnológica é apresentado e caracterizado com profundidade. São discutidas suas principais vantagens e desvantagens, métodos de condução da pesquisa Delphi, fluxograma do processo, uso do questionário, critérios de seleção de respondentes, análise estatística dos dados, *feedback* aos participantes e cuidados na execução.

No Capítulo 3 é detalhada a metodologia de condução deste estudo. São apresentados os especialistas consultados da indústria e da academia, as motivações para selecioná-los e métodos de seleção. Também é apresentado o método de envio dos questionários, registro e tabulação das respostas pelo sistema *Question Pro* via *internet* bem como pelo uso de planilhas eletrônicas e outros *softwares* estatísticos.

O Capítulo 4 é destinado à apresentação e discussão dos resultados obtidos após o envio do questionário Delphi em 2 rodadas consecutivas. Pode ser percebida, por estes resultados, a maior participação dos especialistas da indústria nas respostas recebidas. Também é possível identificar a tendência de evolução dos polímeros de engenharia em aplicações de mais alta temperatura e em particular na indústria automotiva. É apontada uma expectativa de crescimento do mercado de polímeros de engenharia para o período estudado, muito embora um percentual específico não tenha sido claramente apontado. Foi explicitada uma preocupação com preços de matérias primas e da energia por parte dos respondentes para os próximos anos.

O Capítulo 5 é destinado às conclusões finais onde são discutidos os resultados obtidos na pesquisa Delphi e também colocadas recomendações para que a evolução destes materiais aconteça de forma competitiva e continuada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir serão apresentados os principais aspectos sobre os materiais a serem estudados e sobre a técnica de pesquisa utilizada.

2.1 O mundo dos plásticos

É notória a importância dos materiais na história e evolução do Homem. De fato, os períodos históricos na evolução da humanidade são classificados em função dos materiais de construção utilizados nestes momentos, por exemplo a Era do Bronze, a Idade da Pedra. Entretanto, atualmente, não podemos classificar o período histórico em função de um único material, mas sim de um conjunto imenso de materiais e até mesmo de combinações de materiais (ASHBY, 2005).

Dentro deste grande conjunto de materiais disponíveis na atualidade, os polímeros constituem uma parcela significativa e em crescimento como material de construção. Mesmo em épocas antigas, os polímeros naturais desempenharam um papel importante na sociedade. No último século, no entanto, com o advento dos materiais sintéticos é que pode se perceber sua grande utilidade como materiais alternativos aos tradicionais: metais, vidros, cerâmicas e madeira, Figura 1.

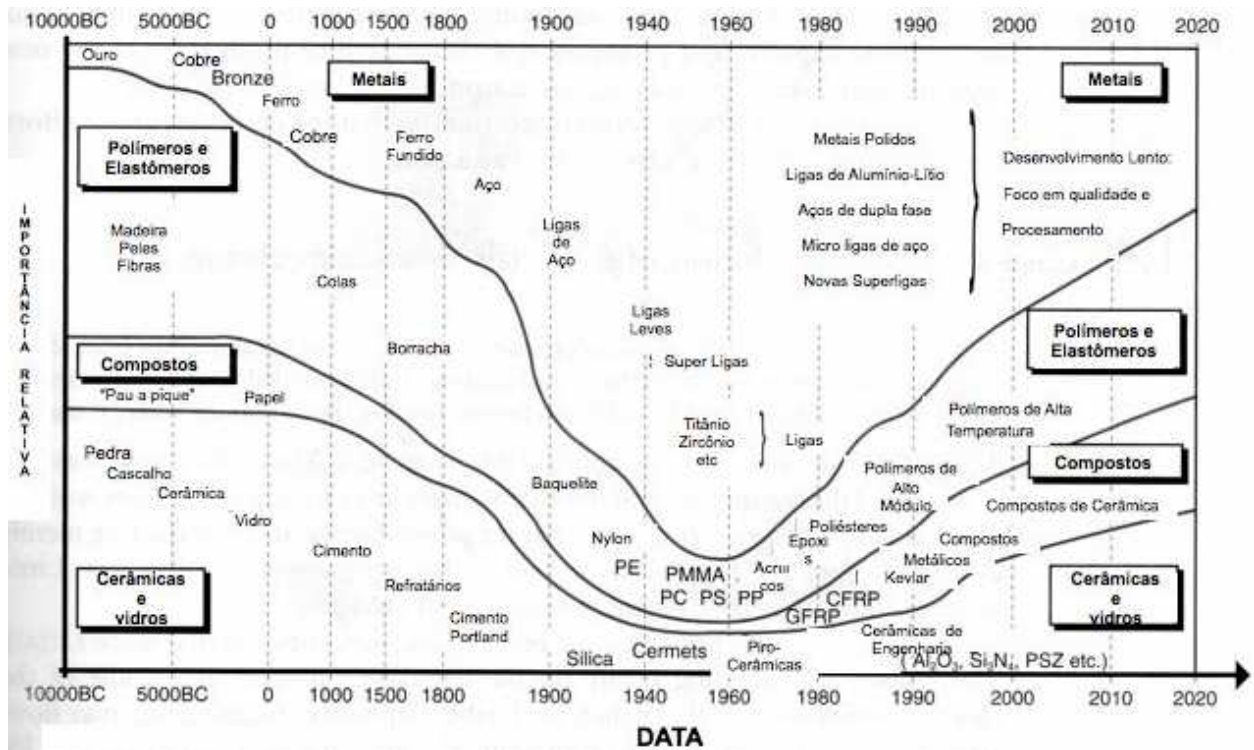


Figura 1 - Evolução dos materiais de construção no tempo - Baseado em: Ashby, 2005

Como se pode ver na Figura 1, nos anos 60 os materiais poliméricos representavam apenas uma pequena fração do total de materiais utilizados. Porém, nas décadas seguintes até o fim do século XX, estes materiais atingiram volumes globais significativos da ordem de 150 milhões de toneladas anuais (ENGINEERING THERMOPLASTICS: OVERVIEW, 2010, v.02, p. 307) especialmente devido à grande quantidade de novos materiais desenvolvidos neste período como mostra a Figura 2. Este volume está dividido entre os diversos tipos de materiais plásticos conforme destaca a Figura 3.

Dentre todos os materiais representados na Figura 3, os polímeros de engenharia representam uma parte menor se comparada aos materiais chamados *commodities*, aproximadamente 12 % do volume de plásticos produzidos mundialmente (ENGINEERING THERMOPLASTICS: OVERVIEW, v. 02, p. 307, 2010). Contudo, estes materiais são os que apresentam o maior potencial para a substituição de materiais convencionais e, por este mesmo motivo, sua taxa de crescimento anual é maior do que a das *commodities* (BRYDSON, 1999).

Obviamente, para que este crescimento possa ser mantido, muitos avanços tecnológicos em termos de propriedades, reforços e processabilidade devem ocorrer. Este será o

tema de estudo deste trabalho que focará de forma ampla nos polímeros de engenharia e de forma particular nos materiais mais representativos desta classe conforme descrito a seguir.

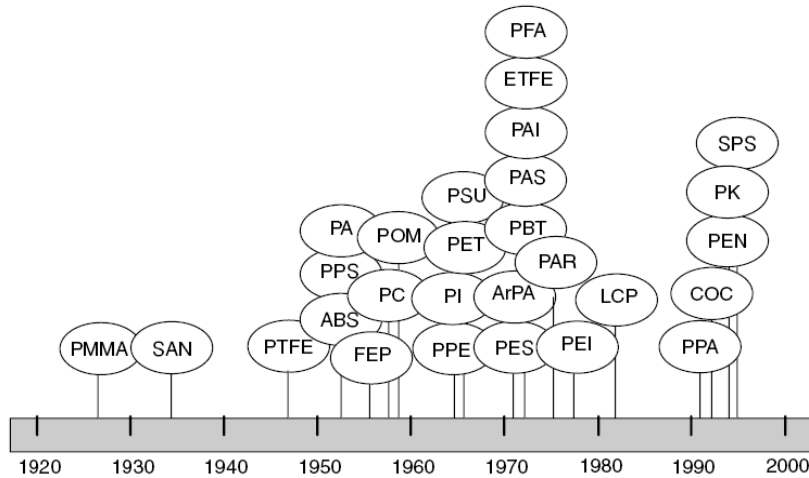


Figura 2 - Desenvolvimento de materiais poliméricos ao longo do século XX. Fonte: Engineering Thermoplastics: Overview - Encyclopedia of Polymer Science and Technology, v.02, p. 322

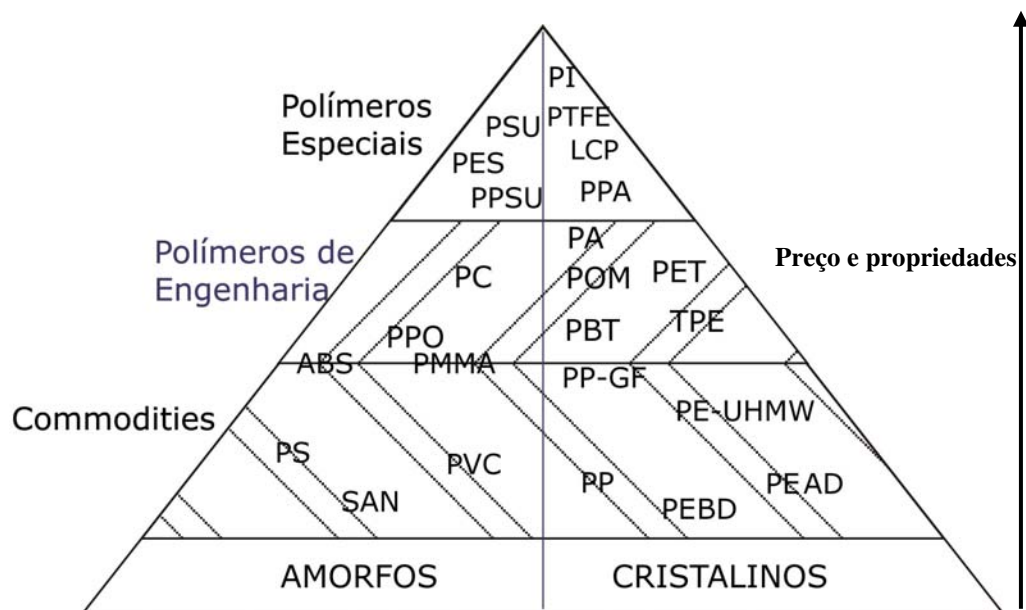


Figura 3 - Classificação dos polímeros e volumes relativos. Fonte: DuPont (2007)

2.2 Polímeros de engenharia

De acordo com Crawford (1998), os materiais poliméricos são utilizados com vantagens em aplicações de engenharia apenas e tão somente em situações onde as claras desvantagens de propriedades, como menor rigidez e resistência térmica são compensadas por

benefícios como menor peso e custo, possibilidade de geometrias complexas e melhor balanço de propriedades.

Esta definição é particularmente interessante pois revela as reais características a serem avaliadas ao estudarmos as tendências de substituição de materiais convencionais por materiais poliméricos.

Ao contrário de buscarmos por vantagens em propriedades específicas como maior módulo de flexão, é mais interessante buscar por materiais que apresentem uma alta resistência ao impacto, com o menor comprometimento possível a este mesmo módulo. Outro exemplo pode ser a manutenção de propriedades mecânicas a altas temperaturas sem a perda das facilidades de moldagem e comportamento à temperatura ambiente.

Ainda, algumas aplicações específicas possuem limitações interessantes que vão além da combinação de propriedades mecânicas. Peças aeronáuticas, por exemplo, além de necessitarem de alta resistência mecânica e bom balanço de propriedades como impacto e rigidez, ainda possuem a exigência de não propagação de chamas e baixa emissão de gases tóxicos quando em combustão.

Com as novas tendências ambientais que visam minimizar as emissões de substâncias voláteis, peças plásticas automotivas necessitam, cada vez mais, de materiais que, além de possuírem estabilização suficiente para o ambiente de uso, não emitam os compostos orgânicos voláteis. Estas substâncias estão presentes nos materiais, normalmente na forma de aditivos que podem ser extraídos quando expostos ao calor ou mesmo sob efeito do tempo de utilização.

Com estas definições em mente, podemos avaliar o uso de materiais poliméricos como materiais de engenharia, suas principais limitações e benefícios. Do ponto de vista estratégico para engenheiros projetistas e mesmo para os fabricantes de resinas plásticas, é fundamental entender as tendências de evolução destes materiais de forma a poderem tomar decisões de longo prazo como investimentos em ferramental e equipamentos de produção, pesquisa e desenvolvimento, melhorias de peças e componentes e planejamento de custos.

Neste estudo serão analisados dois dos principais materiais poliméricos utilizados em aplicações de engenharia. Suas principais propriedades, aplicações e estimativas de mercado encontram-se a seguir.

2.2.1 Poliamidas

As poliamidas compreendem o grupo de polímeros de engenharia semi-cristalinos baseados, ou que apresentam em sua estrutura o grupo amida (Figura 4).

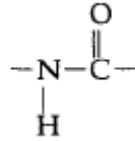


Figura 4 - Grupo amida característico das Poliamidas. Fonte: Ram, 1997

As poliamidas foram os primeiros polímeros de engenharia, desenvolvidos no final da década de 1930 por Carothers nos laboratórios da DuPont. Compreendem uma série de materiais com propriedades bastante diferentes e sua nomenclatura provém da quantidade de átomos de carbono presentes nas moléculas de seus monômeros.

O primeiro tipo de poliamida desenvolvido por Carothers foi o 6.6 e ainda hoje este é o principal representante da família de poliamidas. Especificamente os tipos 6 e 6.6 são responsáveis por aproximadamente 90% das aplicações de *nylons* na indústria (POLYAMIDES, PLASTICS, v.03, p.618, 2010). O nome *Nylon* foi atribuído nesta época e é hoje comumente utilizado para designar esta família de materiais (RAM, 1997).

As primeiras aplicações dos *nylons* se destinaram à área textil na forma de fibras. Em seguida vieram os filamentos para escovas de dente e só a partir da década de 1950 é que os *nylons* passaram a ser utilizados como materiais de engenharia. É estimado que no ano 2000 aproximadamente 25% do volume de *nylons* consumido foi destinado a aplicações fora da área têxtil (POLYAMIDES, PLASTICS, v. 03, p. 618, 2010).

Além de serem os primeiros materiais de engenharia desenvolvidos, os *nylons*, ainda hoje, são um dos mais importantes grupos de polímeros de engenharia em utilização como se vê na Figura 5.

Os *nylons* podem ser considerados os mais versáteis polímeros de engenharia do mercado. Por natureza, apresentam um quase perfeito balanço de propriedades como tenacidade, rigidez, alta resistência à tração, alto ponto de fusão, o que propicia maior estabilidade térmica a altas temperaturas, e excelente resistência química. Além destas propriedades, típicas do estado não reforçado, estes polímeros permitem uma imensa gama de modificações e reforços como fibras de vidro curtas e longas, fibras de carbono, cargas minerais, elastômeros para modificação

ao impacto, retardantes de chama, estabilizantes térmicos e à UV. Devido a estas propriedades, o *Nylon 66* foi o polímero de engenharia selecionado como objeto da pesquisa deste trabalho. A Tabela 2, traz as principais propriedades deste material tanto na forma reforçada como sem reforço.

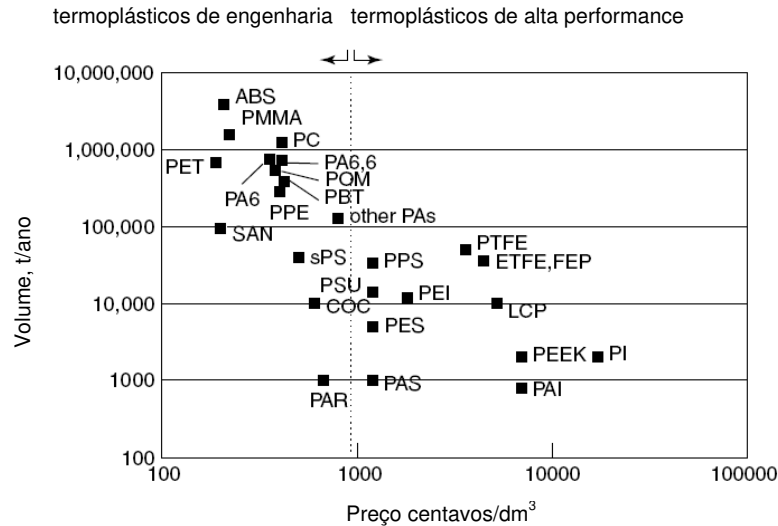


Figura 5 - Posicionamento dos diversos polímeros de engenharia quanto a volumes e preços.

Baseado em: *Engineering Thermoplastics: Overview - Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, v. 02, p. 322

Uma característica peculiar aos *nylons* e que é uma das responsáveis pelo ótimo balanço de propriedades destes materiais é a absorção de água. Peças moldadas em *nylon*, após estabilização da absorção de água, em torno de 2,5 % para *Nylon 6.6* a 23 °C e 50% de umidade relativa do ar, apresentam maior tenacidade, menor rigidez e Tg (Temperatura de Transição Vítrea) mais baixa (POLYAMIDES, PLASTICS, v. 03, p. 623, 2010).

Tabela 2 - Propriedades do *Nylon 66* sem reforço, com 30% de fibras de vidro e modificado ao impacto.
Fonte: Manuais Técnicos DuPont

Propriedade-Norma	Unidade	Nylon 66 sem reforço	Nylon 66 com 30% de fibras de vidro	Nylon 66 modificado ao impacto
Resistência à Tração - ISO 527	MPa	55	135	48
Alongamento na Ruptura - ISO 527	%	>100	5	>100
Módulo de Flexão - ISO 178	MPa	1200	6200	682
Resistência ao Impacto Charpy com entalhe a 23 °C - ISO 179	kJ/m ²	15	16	115
HDT a 1,8 MPa - ISO 75	°C	70	254	63
Ponto de Fusão - ISO 11357	°C	262	262	262
Densidade - ISO 1183	g/cm ³	1,14	1,37	1,08

Contudo esta mesma particularidade pode ser um causador de problemas durante o processo de moldagem pois esta mesma umidade absorvida reage com o polímero fundido levando-o a uma degradação hidrolítica. Peças moldadas com material úmido apresentam redução significativa de suas propriedades mecânicas, especialmente resistência ao impacto, além de apresentarem problemas de aspecto superficial. Dessa forma, a desumidificação do material é fundamental para a obtenção de peças de qualidade. Isto exige um certo grau de investimento da indústria de transformação quando comparado à moldagem de materiais do tipo *commodities*.

Os *nylons* são adequados para praticamente todas as técnicas de transformação de termoplásticos: injeção, extrusão, sopro e rotomoldagem são as mais importantes. O processo de injeção, no entanto, é responsável por aproximadamente 60% da conversão do polímero em peças finais (POLYAMIDES, PLASTICS, v. 03, p. 633, 2010).

Daí suas principais aplicações na indústria como:

- a) peças automotivas: sob o capô, interiores, exteriores e componentes elétricos;
- b) peças eletroeletrônicas: conectores, componentes de isolamento, interruptores e carcaças de disjuntores;
- c) peças para o mercado de consumo: carcaças de ferramentas elétricas, equipamentos esportivos, componentes de mobiliário e filamentos de escovas de dente;
- d) peças para o mercado industrial: recobrimento de fios, tubulações de extração de petróleo.

2.2.2 Polipropileno

Até meados da década de 1950, as únicas poliolefinas com aplicações comerciais eram os polietilenos, poliisobutileno e copolímeros isobutileno-isopreno. Tentativas de polimerizar outras olefinas sempre resultavam na obtenção de materiais de baixo peso molecular, sem possibilidades de aplicação prática (BRYDSON, 1999). Com o desenvolvimento dos catalisadores Ziegler-Natta tornou-se possível a obtenção de polímeros com alto peso molecular e alta cristalinidade a partir do propileno e outras olefinas (RAM, 1997).

A estrutura do polipropileno está representada na Figura 6:

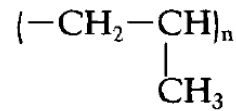


Figura 6 - Estrutura do Polipropileno. Fonte: Ram, 1997

A posição espacial do radical metila é determinante para as propriedades do material obtido. A grande contribuição dos catalisadores do tipo Ziegler-Natta foi a de tornar possível o controle do posicionamento destes radicais ao longo da cadeia polimérica levando a obtenção de três tipos de polipropileno: atático, isotático e sindiotático, ilustrados na Figura 7.

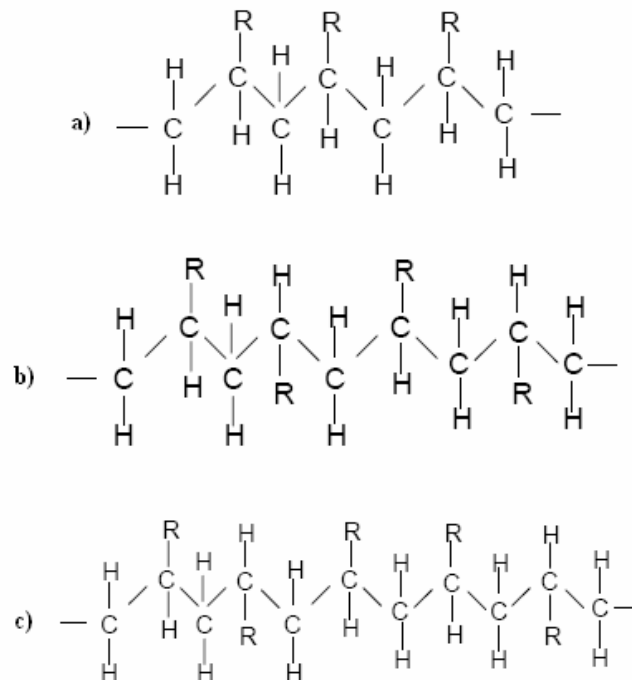


Figura 7 - Tipos de Polipropileno: a) Isotático; b) Sindiotático; c) Atático. Fonte: Machado, 2002

O polipropileno atático é considerado um polímero amorfo e sem propriedades mecânicas significativas. O tipo mais importante é o isotático onde se obtém a maior cristalinidade e propriedades mecânicas mais interessantes para a indústria (RAM, 1997). Este tipo é caracterizado pelo posicionamento ordenado dos radicais metila do mesmo lado da cadeia polimérica.

Esta estrutura propicia um polímero com maior ponto de fusão, maior rigidez e Tg mais elevada quando comparado ao polietileno, contudo percebe-se também uma maior sensibilidade à oxidação em altas temperaturas. Além disso, devido à Tg de 0 °C, a resistência ao

impacto, mesmo à temperatura ambiente é marginal. A Tabela 3 mostra o resumo das principais propriedades do material.

Tabela 3- Principais Propriedades do PP e compostos. Fonte: Propylene Polymers - Encyclopedia of Polymers Science and Technology, v. 11

Propriedade-Norma	Unidade	PP Homopolímero	PP Homopolímero com 20% Talco	PP Homopolímero com 20% de Fibras de Vidro
Resistência à Tração - ASTM D 638	MPa	34	31	83
Alongamento na Ruptura - ASTM D 638	%	12	4	-
Módulo de Flexão - ASTM D 790A	MPa	1400	1900	4500
Resistência ao Impacto Izod com entalhe a 23 °C - ASTM D 256A	J/m	39	37	85
HDT a 0,45 MPa - ASTM D 648	°C	93	109	157
Densidade - ISO 1183	g/cm ³	0,91	-	-

De acordo com Ram (1997), o polipropileno (PP) compete principalmente com o polietileno de alta densidade (PEAD) e com o PVC, contudo em muitas de suas formas, especialmente os compostos de PP, já é considerado como um semi-(polímero de engenharia).

De fato, em se tratando de polímeros de engenharia, os principais competidores são *commodities* como o PP tanto na forma de compostos como na forma não reforçada. Estes materiais podem apresentar propriedades muito similares às de alguns polímeros de engenharia, com custo relativamente mais atrativo e, portanto, são opções interessantes para a indústria (ENGINEERING THERMOPLASTICS: OVERVIEW, v. 02, p. 324, 2010). Por este motivo, o PP foi selecionado neste trabalho como material de comparação ao *Nylon 66*.

As principais aplicações do PP na indústria estão na área de consumo como utensílios domésticos injetados e embalagens, tanto na forma de injetados como na forma de filmes. Na indústria automotiva, o PP encontra as maiores possibilidades de aplicação como material de engenharia, com aplicações em diversos componentes internos como painéis e peças de acabamento, enquanto nas aplicações externas tem-se como maior evidência os para-choques. Na área industrial é possível encontrar aplicações de PP em diversas peças estruturais, principalmente onde a exposição a temperaturas elevadas não é um fator importante.

2.2.3 Outros polímeros de engenharia

De fato, o mundo dos polímeros de engenharia é grande. Inúmeros outros materiais poliméricos apresentam potencial de aplicação na substituição de materiais convencionais e na criação de novas aplicações.

Também os polímeros amorfos de engenharia como o Policarbonato estão em constante evolução em termos de propriedades e processabilidade para o desenvolvimento de novas aplicações, como janelas automotivas. Ainda no campo dos materiais amorfos, Polissulfonas e Poli(óxido de fenileno) são utilizados em aplicações de altas temperaturas em que a estabilidade dimensional é fundamental.

No campo dos polímeros de engenharia semi-cristalinos o Poliacetal e os Poliésteres PET e PBT são importantes representantes ao lado das Poliamidas. Estes materiais encontram diversas aplicações em peças estruturais, componentes mecânicos e peças de acabamento.

Outros materiais como Poliftalamidas, Poliimididas, Poliétersulfonas, Poli(tetrafluoretileno), Polímeros de Cristal Líquido e Poli(etér-éster-cetonas) encontram aplicações em áreas específicas, onde requisitos tais como manutenção de propriedades a altas temperaturas, altos esforços mecânicos, componentes químicos agressivos, trabalho sob atrito sem lubrificação e exposição a intempéries são dominantes.

A Tabela 5 mostra as principais aplicações destes materiais poliméricos de engenharia.

Contudo, um olhar mais detalhado sobre estes materiais em termos de volumes de utilização, conforme a Figura 5 e também em termos de artigos acadêmicos produzidos conforme ilustra a Figura 8, vê-se que os materiais com maior presença na indústria e academia são, de fato, o Polipropileno e os *Nylons*, especialmente o tipo 66.

Estes dados reforçam a escolha destes materiais como escopo de estudo deste trabalho.

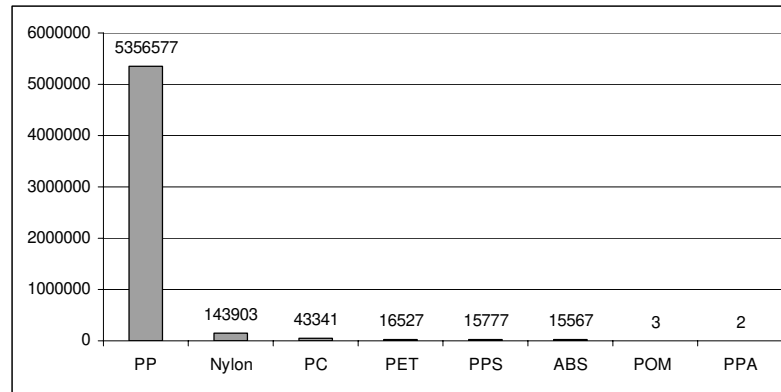


Figura 8 - Artigos acadêmicos encontrados por material. Fonte: Science Direct em www.sciencedirect.com acesso em 29/03/2010

Tabela 4 - Aplicações dos polímeros de engenharia. Fonte: Manuais técnicos Sabic, Solvay e DuPont.

<i>Material</i>	<i>Aplicações Típicas</i>
Policarbonato – (PC)	Lentes, discos óticos, janelas plásticas automotivas, componentes elétricos
Polissulfonas – (PSU)	Componentes transparentes para altas temperaturas, componentes médicos, sistemas de combustível, manuseio de líquidos quentes.
Poli(óxido de fenileno) – (PPO)	Componentes eletrônicos, peças automotivas estruturais (paralamas).
Poliacetal – (POM)	Isqueiros, molas plásticas, engrenagens, buchas e mancais.
Poli(tereftalato de etileno) – (PET)	Componentes elétricos, puxadores de fogão
Poli(tereftalato de butileno) – (PBT)	Botões de fogão, limpadores de parabrisas.
Poli(altamidas) – (PPA)	Carcaças de bomba d'água, engrenagens, peças de sistemas de combustível, peças estruturais.
Poliimidas – (PI)	Vedações dinâmicas, selos mecânicos, manuseio de substâncias químicas.
Poli(étersulfonas) – (PEI)	Equipamentos cirúrgicos
Poli(tetrafluoretileno) – (PTFE)	Manuseio de substâncias químicas, revestimento de válvulas, peças para baixo atrito.
Polímeros de Cristal Líquido – (LCP)	Componentes elétricos, miniaturização, refletores metalizados.
Poli(éter-éster-cetona) – (PEEK)	Buchas e mancais, componentes estruturais para altas temperaturas.

2.3 Metodologias de prospecção tecnológica

A atividade de prospecção de tendências futuras acompanha o Homem desde seus primórdios. Sua principal função é a de permitir mudanças de comportamento e estratégia de forma a assegurar a sobrevivência e competitividade no cenário futuro.

Para isso, é necessário pensar, debater, permitir a entrada de novas idéias, tocar em pontos controversos e polêmicos, buscando uma linguagem comum ao grupo de discussão de forma a permitir que um consenso seja atingido quanto ao panorama futuro. Particularmente, a prospecção tecnológica, visa antecipar quais novas tecnologias estarão disponíveis para uso no futuro, para uma determinada área do conhecimento (DREJER e RIIS, 1999).

Os estudos ou exercícios prospectivos têm a função de permitir que estas atividades mentais sejam realizadas de forma sistemática, organizada e estruturada promovendo a criação de conhecimento que responda às necessidades dos indivíduos, organizações, empresas e sociedade quanto à tomada de decisões no presente de forma a estar no posicionamento correto no futuro.(SANTOS et.. al., 2004).

A utilização de exercícios prospectivos permite as seguintes vantagens:

- a) Promoção de linguagem comum para circulação da informação e conhecimento;
- b) Mais inteligência antecipatória inserida no processo;
- c) Incorporação da visão de futuro no pensamento dos envolvidos no processo;
- d) Maior apoio às decisões relativas à definição de prioridades;
- e) Gestão de riscos associados às inovações tecnológicas;
- f) Melhoria da competitividade de produtos, processos e serviços.

Segundo Porter et. al. (2003) os métodos de prospecção tecnológica podem ser classificados nas seguintes famílias mostradas na Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação dos métodos e técnicas prospectivos. Fonte: Porter et. al. (2003)

<i>Famílias</i>	<i>Técnicas e Métodos</i>
Criatividade	<i>Brainstorming</i> <i>Workshops</i> de criatividade Análise de ficção científica
Métodos Descritivos e Matrizes	Analogias Modelagem de sistemas de inovação Análise de decisão multicritério Análise organizacional Árvore de relevância Investigação de impacto social
Métodos Estatísticos	Análise de correlação Análise de impacto cruzado Demografia Análise de risco Análise de Ciclo de Vida
Opinião de Especialistas	Delphi Grupo de foco Entrevistas
Monitoramento e Sistemas de Inteligência	Bibliométrica Monitoramento
Modelagem e Simulação	Modelos Causais Caos Modelagem econômica Simulação de sistemas
Cenários	Prospecção de cenários Gerenciamento de cenários Análise de anomalias de campos
Análise de Tendências	Análise de onda longa Análise precursora Extrapolação de tendências
Avaliação/Decisão	Processo de hierarquia analítica Análise de custo-benefício Modelagem econômica Árvore de relevância <i>Benchmarking</i>

Como se pode perceber existem inúmeros métodos e técnicas para prospecção tecnológica, não existe então uma fórmula definida para as atividades de prospecção. Cada caso em estudo deve ser analisado à luz de suas características como área de conhecimento, abrangência local, regional ou global, interesse governamental, empresarial ou acadêmico, horizonte de tempo a ser explorado, custos e informações disponíveis. Deve-se ter em mente que o objetivo final da utilização de um método prospectivo é o de responder adequadamente às indagações quanto ao futuro em termos de inovações tecnológicas. Além disso, não é assumido que o caminho de desenvolvimento de novas tecnologias está predeterminado, mas sim que pode ser modelado e esta modelagem deve ser discutida (DREJER e RIIS, 1999).

Para este estudo foi selecionado o método Delphi de prospecção tecnológica pois permite a consulta a uma grande quantidade de especialistas com custos baixos, num prazo relativamente curto e com a possibilidade de um tratamento estatístico das opiniões prestadas. Detalhes sobre o método Delphi serão apresentados na seção 2.3.

2.4 O método Delphi

Basicamente o método Delphi visa ter a opinião de especialistas sobre um evento ou tendência futura. Esta consulta é realizada na forma de um questionário enviado aos respondentes em diversas rodadas.

De acordo com Helmer e Dalkey (1963) citados por Linstone e Turoff (1975), o método Delphi pode ser visto como uma ramificação dos métodos de pesquisa da área de defesa e o nome "*Project Delphi*" foi atribuído a um estudo conduzido no início da década de 1950 pela *Rand Corporation* e patrocinado pela Força Aérea Americana, que se baseava na opinião de especialistas. Originalmente, a técnica foi desenvolvida para "obter o consenso de opinião mais confiável em um grupo de especialistas por meio de uma série de questionários intensivos intercalados com um *feedback* controlado destas opiniões".

Pesquisas recentes utilizando a metodologia Delphi entretanto, têm dispensado a busca pelo consenso como fator obrigatório para a caracterização do método, sendo que atualmente, o Delphi é classificado como uma ferramenta para coleção de opiniões de especialistas de forma confiável (LANDETA, 2006)

Conforme Martino (1993), citado por Wright e Giovinazzo (2000), diferentemente de outros métodos de pesquisa de opinião, o que caracteriza o método Delphi é o anonimato dos respondentes, a apresentação estatística dos resultados e o *feedback* destes resultados aos

respondentes, além de propiciar um efeito de aprendizado aos participantes devido à interação com diversas opiniões de especialistas (CHAKRAVARTI et al. – 1998).

O Delphi pode ser considerado como o melhor método conhecido para prospecção tecnológica. Desde sua criação, vem sendo criticado, reavaliado, aprimorado e disseminado e, desde a década de 1980, tem sido continuamente utilizado, embora não de forma frequente (LANDETA, 2006).

As principais aplicações históricas da metodologia são (LINSTONE e TUROFF, 1975):

- a) Na área governamental: problemas de planejamento nacional, regional ou local onde podem ser consultados especialistas, autoridades e cidadãos;
- b) Na área industrial e acadêmica: previsões tecnológicas ou mercadológicas, especialmente em áreas onde registros históricos sejam inexistentes ou muito raros para permitir um tratamento estatístico adequado. Pode também ser utilizado como ferramenta para desenvolvimento de novas idéias.

Exemplos destas aplicações são os trabalhos realizados na Coreia (SHIN, 1998), Índia (CHAKRAVARTI et al. – 1998), Japão e Alemanha (MARTINO, 2003). Nestes trabalhos os autores conduziram pesquisas a nível nacional com o objetivo de identificar tendências de evolução tecnológica a longo prazo nas mais diversas áreas do conhecimento como: produção, materiais, química fina, agricultura, ciências biológicas, ciências médicas e saúde, energia, meio-ambiente, transporte, astronomia e espaço e ultra tecnologia.

De fato, como foi conhecido, o Delphi da Coreia, foi a primeira pesquisa utilizando o método Delphi realizada em grande escala. A grande variedade de assuntos abordados mostra a flexibilidade do método e cria precedentes importantes para a fundamentação deste trabalho.

Podem ser considerados como critérios para utilização da metodologia Delphi, em detrimento a outras técnicas de pesquisa, os seguintes aspectos do caso a ser estudado (LINSTONE e TUROFF, 1975):

- a) O problema não permite uma avaliação precisa por técnicas analíticas, mas necessita de opiniões subjetivas de forma coletiva;
- b) Não há histórico de que os indivíduos a serem consultados para avaliação do problema tenham comunicação eficiente entre si e/ou de que representam diversos níveis de conhecimento e experiências;

- c) Mais indivíduos são necessários do que o eficientemente factível para uma reunião coletiva;
- d) Disponibilidade de tempo e os custos tornam impossíveis reuniões frequentes;
- e) A eficiência de reuniões presenciais pode ser aumentada com a utilização de uma ferramenta suplementar de comunicação coletiva;
- f) A divergência de opiniões entre os indivíduos é, de tal modo severa, que as discussões precisam ser mediadas e/ou o anonimato garantido;
- g) A heterogeneidade do grupo de indivíduos deve ser preservada para garantir a autenticidade das respostas, i. e. evitar a dominação por quantidade ou força de personalidade.
- h) Para estudos envolvendo grande número de respondentes tanto em aplicações sociais quanto industriais, provavelmente o Delphi é o único método factível (MARTINO, 2003).

No caso específico deste trabalho, existe a motivação adicional de o método Delphi já ter sido utilizado para uma avaliação da tendência de utilização de materiais poliméricos em oposição a materiais convencionais, estudo este conduzido por Enzer (1971) e citado por Linstone e Turoff (1975, p. 189). Neste estudo foi avaliada, de forma bastante ampla, a tendência de evolução das propriedades dos materiais poliméricos e de que forma esta evolução poderia contribuir para uma utilização mais disseminada deste material em detrimento aos materiais convencionais numa visão de 14 anos.

O próprio Governo Brasileiro, através da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), também realizou pesquisas de tendência para a indústria do plástico utilizando a metodologia Delphi como uma das ferramentas de prospecção (ESTUDO PROSPECTIVO: PLÁSTICOS, p. 84 2009). Este estudo teve como objetivo traçar planos e estratégias para esta indústria de forma a permitir uma maior competitividade às empresa do setor em face a tendências de evolução tecnológica, econômica e social. Contudo, o escopo do trabalho se limitou ao segmento de embalagens, devido à sua grande representatividade indicada na Figura 9.

Além disso, estudos recentes indicam que o método Delphi ainda é utilizado como ferramenta de prospecção tecnológica em dissertações e teses. Isso indica que o método é aceito pela comunidade científica como uma técnica de pesquisa atual e válida (LANDETA, 2006).

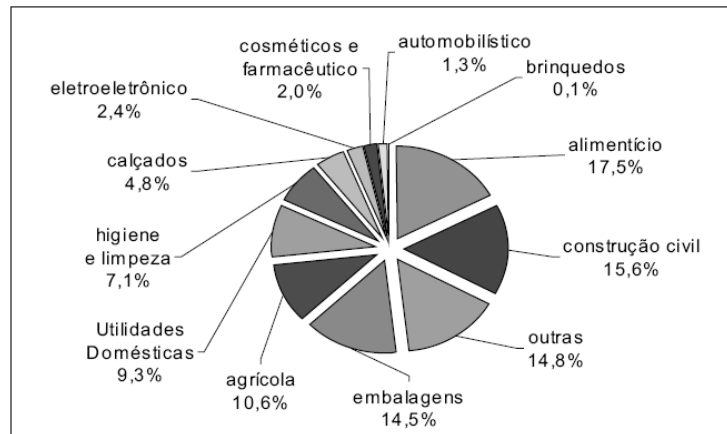


Figura 9 - Destino aproximado da venda de polímeros. Fonte: Perfil 2008 - Abiquim

As principais vantagens da utilização do método Delphi são (WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000 e GRAHAM, et al., 2003):

- a) Permite a realização de previsões mesmo em cenários carentes de dados históricos;
- b) O nível de qualidade das informações obtidas será igual, pelo menos, ao do respondente mais informado ou experiente;
- c) O uso de questionários facilita a comunicação e registro, permitindo aos respondentes uma melhor reflexão sobre o tema em análise;
- d) Permite a consulta a um grande número de especialistas a custos baixos comparados a opção de reuniões presenciais;
- e) A interação entre os participantes permite uma maior criatividade nas respostas à medida que rodadas sucessivas são executadas.

Contudo, algumas desvantagens também são notadas e cuidados para que não se tornem descarriladores do processo de pesquisa devem ser tomados (HUCKFELDT e JUDD, 1974; WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000 e LANDETA, 2006):

- a) As respostas podem se desviar do objetivo principal caso os respondentes não sejam selecionados de forma isenta e buscando a diversidade de opiniões;
- b) Possibilidade de se chegar ao consenso por critérios subjetivos e não com base em dados estatísticos;
- c) Dificuldade na elaboração de um questionário eficiente;
- d) Tempo para se atingir o consenso, sendo que podem ser necessárias várias rodadas de questionários;

- e) Em estudos com grande número de respondentes (acima de 100) a chance de alguém entender a pergunta de forma diferente da proposta é alta;
- f) Impunidade decorrente do anonimato em termos de descompromisso com a resposta;
- g) Dificuldade ou impossibilidade de verificação da precisão e confiabilidade.

Em certos meios, o método Delphi é considerado, antes de tudo, como uma ferramenta de comunicação em que seu sucesso pode ser medido qualitativamente em termos da satisfação dos participantes (WOUDENBERG, 1991). Sob este ponto de vista, as desvantagens citadas podem ser minimizadas buscando proporcionar aos respondentes a possibilidade de usufruir dos resultados da pesquisa.

Ainda segundo Linstone e Turoff (1975), existem dois tipos de pesquisas conduzidas sob o método Delphi. O primeiro tipo é o convencional em que os questionários são enviados aos respondentes em papel e posteriormente os mesmos são devolvidos com as respostas. Neste caso, há inconvenientes como tempo excessivo entre envio e retorno, além de custos de impressão e postagem dos questionários. Embora uma variação menos custosa possa ser utilizada com o envio do questionário via correio eletrônico o problema do tempo de resposta ainda permanece.

O segundo tipo é o em tempo real, que se utiliza das vantagens de computadores em rede para que os especialistas dêem suas respostas imediatamente. Da mesma forma, a análise estatística dos dados é praticamente instantânea. Neste caso a maior dificuldade é exatamente a reunião de especialistas ao mesmo tempo, mesmo com a facilidade de acesso à rede atualmente.

De forma geral, as etapas de condução da pesquisa sob o método Delphi são similares para ambos os tipos descritos acima e estão resumidas no fluxograma apresentado na Figura 10.

A seguir discutiremos em mais detalhes algumas das características do método Delphi.

2.4.1 Questionário

Um bom questionário, com a quantidade correta de perguntas, elaboradas de forma clara e objetiva e que permita a expressão da opinião sincera do respondente é crucial para o sucesso da metodologia.

O primeiro passo para a elaboração de um questionário adequado é a definição do objetivo da pesquisa. No objetivo são mencionados o período de tempo a considerar, no caso de

previsões tecnológicas, e os resultados esperados. Este objetivo serve também como apresentação do trabalho de pesquisa aos especialistas de forma que possam entender a proposta.

A seguir, uma das tarefas mais difíceis relacionadas à elaboração do questionário, que é a definição do seu tamanho. O ideal é se ter uma quantidade de questões que permita a completa exploração do tema sem, porém, ser tão extenso a ponto de inibir os respondentes. É ideal, também, que as questões possuam espaço suficiente para a colocação de comentários adicionais pelos respondentes.

Após a definição da quantidade de questões, deve ser dada especial atenção à sua elaboração. Evitar eventos compostos ou ambiguidades, tornar o preenchimento das respostas simples e rápido, esclarecer contradições e limitar a quantidade de alternativas são cuidados que podem levar à elaboração de um questionário mais eficiente.

Uma boa idéia é a de incluir em cada questão, um breve descritivo da situação atual. Dessa forma as respostas podem ser baseadas todas em uma mesma linha de raciocínio. Isto pode facilitar a compreensão das questões e a obtenção do consenso (WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000).

Outra atividade recomendada é a validação do questionário, ou a adequação das questões propostas, junto a especialistas da área que, preferencialmente, não participarão como respondentes.

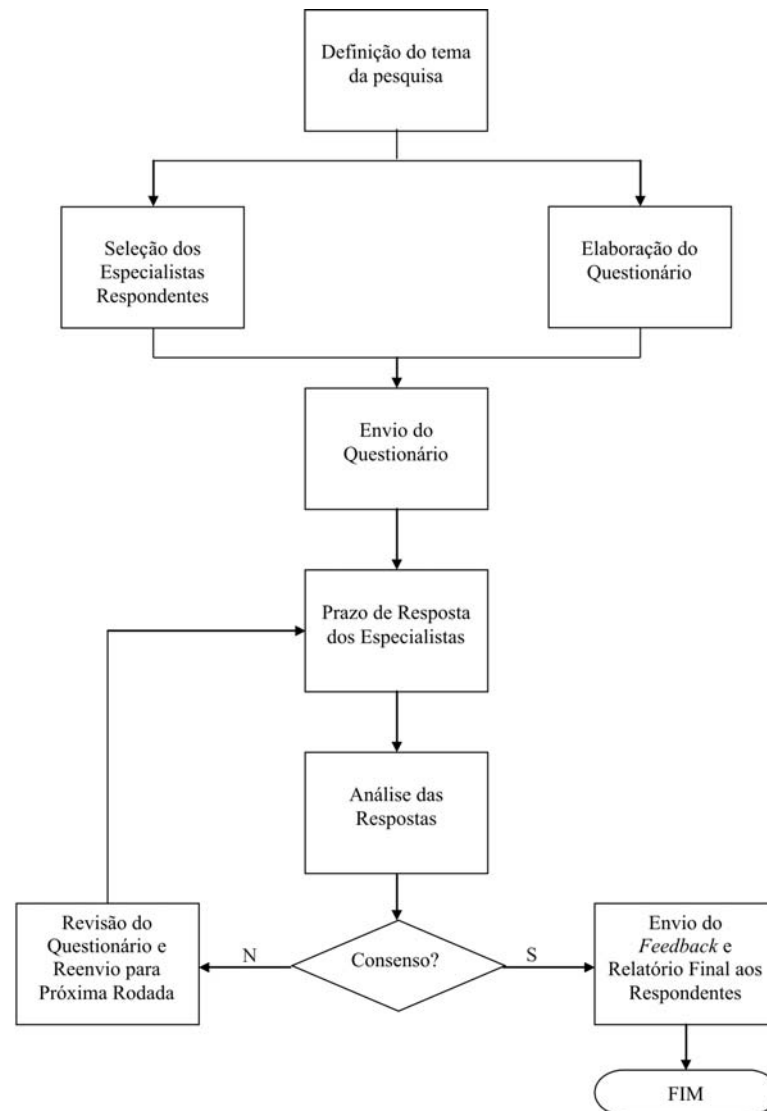


Figura 10 - Fluxograma de Condução do Método Delphi.

O questionário utilizado nas diversas rodadas do método Delphi é “vivo”, ou seja, a cada rodada podem ser incluídas pequenas alterações que reflitam a movimentação dos respondentes para um consenso. Estas alterações devem fazer parte do *feedback* enviado a cada rodada, para que os respondentes possam comparar suas opiniões com as do grupo.

No caso dessa pesquisa, devido ao fato de se ter respondentes tanto do Brasil quanto do exterior, serão utilizados dois questionários idênticos em conteúdo, porém um na língua portuguesa e outro na língua inglesa. O primeiro será enviado aos respondentes brasileiros e o segundo a todos os respondentes estrangeiros. Os questionários utilizados neste trabalho estão exemplificados nos Anexos B e C.

2.4.2 Respondentes

Paralelamente à elaboração do questionário, a equipe que conduzirá a pesquisa com a metodologia Delphi deve selecionar os respondentes que participarão com suas opiniões.

Também como característica da metodologia, busca-se a maior diversidade possível para tratar do tema em questão. Buscar respondentes em entidades de classe, universidades, associações, indústria, institutos de pesquisa e mesmo na sociedade ajuda a obter esta diversidade. Deve-se lembrar, entretanto, que apesar de a diversidade permitir uma visão abrangente do tema, a qualidade das respostas depende diretamente do domínio do respondente sobre este tema (WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000).

Uma forma também utilizada para a seleção adequada de respondentes é solicitar aos potenciais respondentes consultados a indicarem outros nomes que também possam participar da pesquisa. Neste caso, um critério de seleção deve ser claramente definido para que a tarefa de indicação seja realizada adequadamente. Parâmetros como anos de experiência na área, número de publicações e participação em congressos podem ser boas referências.

Após gerar a lista de respondentes potenciais, estes devem ser contatados para que lhes seja explicada a metodologia, objetivos da pesquisa e importância de sua participação. Àqueles que aceitarem participar da pesquisa será enviado o questionário.

O número de respondentes a ser contatado também deve ser avaliado com cuidado pois o histórico mostra que há uma abstenção entre 30% e 50% na primeira rodada do questionário e entre 20% a 30% na segunda rodada (WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000). Caso o número de respondentes contatado e selecionado seja pequeno, a qualidade das respostas pode ficar comprometida.

Diversos motivos podem ser apontados como causa da abstenção ou mesmo da não adesão ao estudo. Entre eles destacam-se (LANDETA, 2006):

- a) Desconhecimento, por parte dos respondentes, do método e seus detalhes de funcionamento;
- b) Em estudos que envolvem grande número de rodadas de questionamento, os respondentes podem se cansar de revisar as mesmas questões diversas vezes;
- c) Sem a possibilidade de interação com outros respondentes, o benefício do participante se resume às análises das respostas e dados estatísticos;

- d) A falta de um *feedback* efetivo. Os respondentes devem saber exatamente o *status* do estudo e o momento em que sua participação não é mais necessária.

2.4.3 Anonimato

Outra característica importante da metodologia Delphi é o anonimato da identidade dos respondentes. Há duas razões principais para se garantir o anonimato: a primeira é a de permitir ao respondente que sua opinião seja dada sem julgamento de valor e a segunda é a de evitar que respondentes com maior prestígio influenciem as respostas de outros respondentes.

Da mesma forma, o anonimato permite que, em rodadas seguintes, os respondentes possam reavaliar suas próprias respostas comparando-as com a dos demais respondentes permitindo uma maior liberdade para possíveis mudanças de opinião.

O anonimato implica em que os respondentes não saibam quem são os participantes da pesquisa ou, caso o saibam, não haja a possibilidade de comunicação entre eles. Esta é uma das principais características do método Delphi em termos de diferenciação de outras metodologias (PEREZ e SCHÜLER, 1982).

2.4.4 Rodadas de envio do questionário

Com os respondentes selecionados e devidamente instruídos sobre o funcionamento da metodologia, passa-se ao envio dos questionários para a primeira rodada de respostas. Os respondentes têm um prazo definido e previamente informado para a conclusão do preenchimento do questionário e devolução do mesmo.

Após o recebimento dos questionários respondidos, a equipe que conduz a pesquisa deve realizar as análises estatísticas das respostas e compilação de dados para que o questionário possa ser preparado para a segunda rodada de respostas.

Com as análises concluídas e todos os dados compilados, há também a possibilidade de que o questionário em si seja revisto. Pequenas alterações como inclusão ou exclusão de poucas questões e alteração da redação de questões podem melhorar os resultados das rodadas seguintes. Contudo, alterações muito grandes podem prejudicar a análise objetiva dos resultados.

Assim, têm início as rodadas seguintes. Cada nova rodada é composta pelo envio do questionário juntamente com os resultados compilados da rodada anterior. Este processo deve ser repetido até que um nível de consenso previamente estabelecido seja atingido.

Para a caracterização da metodologia Delphi, são necessárias, pelo menos, 2 rodadas. Com menos de 2 rodadas a metodologia Delphi fica descaracterizada, já uma quantidade maior do que 4 rodadas pode indicar que o consenso não será obtido, o que em muitos casos pode até ser tão conclusivo quanto o consenso em si (WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000 e LANDETA, 2006).

2.4.5 Análise dos dados e *feedback*

O *feedback* aos respondentes é outra característica intrínseca à metodologia Delphi. A cada rodada e ao final da pesquisa, todos os respondentes são informados dos resultados obtidos e conclusões de forma a poderem reavaliar suas respostas em busca do consenso.

Entre cada rodada de respostas a equipe que conduz a pesquisa deve realizar uma análise detalhada das respostas. Esta análise utiliza técnicas estatísticas para demonstrar e tabular as respostas obtidas.

Diversas técnicas estatísticas podem ser utilizadas dependendo do tipo de dados a serem analisados. Avaliação de quartis, médias ou medianas e desvio padrão são exemplos que permitem aos respondentes avaliar suas opiniões comparativamente às dos demais participantes. Uma vez que diferentes questões possam levar a diferentes tipos de dados, cada questão deve ser avaliada separadamente e deve ser utilizada a técnica estatística mais adequada a cada tipo de dado (WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000).

A mediana deve ser utilizada em questões que permitam uma grande diversidade de respostas, como exemplo, se perguntado em que ano determinada tecnologia estará disponível, o respondente pode escolher a partir da data atual, qualquer outro ano à frente. Já em casos onde as opções são limitadas a média pode ser uma boa escolha, como por exemplo, solicitar ao respondente que classifique, numa escala de 1 a 5, sendo 1 pouco provável e 5 muito provável, a tendência que uma dada tecnologia esteja disponível no espaço de um ano. No final das rodadas, a média ou mediana pode ser considerada como o consenso do grupo de especialistas.

A análise de quartis permite uma avaliação da convergência das respostas. Esta análise é importante para a definição das próximas rodadas e do momento em que o consenso final foi obtido.

Outra possibilidade de análise estatística, é a avaliação de frequência ou de porcentagens. Este tipo de análise é útil em casos onde os respondentes são solicitados a eleger

em uma lista, a alternativa que melhor reflita sua opinião. A tabulação e gráficos como histogramas podem ilustrar as alternativas mais votadas no grupo.

O tipo mais difícil de resposta em termos de avaliação é a discursiva, onde o respondente tem liberdade de emitir suas opiniões e comentários sem, necessariamente, estar ligado a uma ou outra alternativa. Estas respostas devem ser todas listadas e apresentadas nas rodadas seguintes para nova discussão.

A idéia é que cada respondente avalie suas respostas entre cada rodada, reconsidere sua opinião para aproximá-la do consenso, ou ainda mantenha sua posição destoante e justifique sua resposta de forma que outros respondentes também possam avaliar e comentar sua opinião.

Com relação aos possíveis comentários e justificativas incluídos nas respostas, estes devem ser compilados e organizados para permitir a adequada avaliação de todos os respondentes.

3 METODOLOGIA DO ESTUDO

Este estudo teve início com a seleção dos especialistas a serem contatados para o envio do questionário Delphi. Foram escolhidas duas categorias de especialistas para participação na pesquisa, abaixo estão listadas estas categorias e os motivos de sua escolha.

3.1 Especialistas da indústria

A área industrial é movida fortemente por resultados. Isto implica que quaisquer novas tecnologias, por mais inovadoras ou benéficas que sejam, necessitam, impreterivelmente, permitir que seja extraído mais valor dos materiais do que nas condições atuais.

Em outras palavras, se a nova tecnologia abrir as portas para menores custos, maiores preços e, conseqüentemente maiores margens de lucro, ou mesmo a exploração de novos mercados, esta tecnologia terá futuro na indústria. Por outro lado, se o material resultante, apesar de possuir propriedades superiores, não permitir uma melhor condição de lucratividade ou não agregar novas opções de negócios, não será uma opção a ser considerada pela indústria.

Assim, é fundamental que a opinião de especialistas da indústria seja ouvida em uma pesquisa de prospecção tecnológica. Sua principal contribuição é o conhecimento do mercado em que atuam, suas necessidades e anseios. Também possuem um profundo conhecimento do valor percebido pelo mercado frente a novas tecnologias e novos materiais.

Da mesma forma, estes especialistas possuem o conhecimento necessário para estabelecer um posicionamento estratégico de novas tecnologias e materiais de forma que o maior valor agregado possa ser atingido. Assim, as pesquisas para desenvolvimento de materiais melhorados podem e devem utilizar como ponto de partida a opinião dos usuários das peças e componentes que serão fabricados com estes produtos. Esta opinião é muito facilmente coletada pelos especialistas da indústria que estão constantemente em contato com seus clientes e coletando suas principais dificuldades, necessidades e desafios a serem vencidos.

Não obstante, a indústria é um grande centro de realização de pesquisas para desenvolvimento, novas tecnologias e materiais surgem dos laboratórios dos principais fabricantes de materiais poliméricos todos os anos diretamente para o mercado. Estas pesquisas estão em andamento continuamente e os resultados observados hoje, certamente tiveram seu início em análises de tendências realizadas ao longo de vários anos.

Por todos estes motivos, a indústria figura como uma fonte inestimável de informações sobre as principais tendências de evolução dos polímeros de engenharia.

Para esta pesquisa foram selecionados 116 profissionais da indústria tanto no Brasil quanto no exterior. Os perfis variam de profissionais de pesquisa e desenvolvimento, especialistas de suporte técnico, especialistas de marketing e vendas e gestores estratégicos.

3.2 Especialistas acadêmicos

Como contraponto à indústria, a academia realiza inúmeras pesquisas nas mais variadas áreas do conhecimento todos os anos. Estas pesquisas ajudarão a modelar o futuro de uma disciplina ou mesmo alterar os rumos de sua evolução (CICARELLI, 1984) e podem estar orientadas a:

- a) Materiais e/ou tecnologias com aplicação imediata para o mercado;
- b) Materiais e/ou tecnologias com aplicação possível para o mercado em médio ou longo prazos;
- c) Materiais e/ou tecnologias sem aplicação direta para o mercado que, entretanto, permitirão criar as bases para outras pesquisas que resultem em aplicação imediata para o mercado.

Os especialistas acadêmicos, para condução de suas pesquisas estão constantemente atualizados com as mais recentes tecnologias disponíveis e, sobretudo, têm acesso facilitado a especialistas de outras áreas o que lhes permite uma visão bastante global das possibilidades finais de suas pesquisas.

Portanto, da mesma forma que os especialistas da indústria, a opinião dos acadêmicos é fundamental para uma visão precisa de longo prazo sobre os caminhos de evolução tecnológica.

Também, estes especialistas podem usufruir dos resultados obtidos como “matéria prima” para abertura de novas linhas de pesquisa orientadas ao mercado. Como resultado da interação com opiniões de representantes da indústria, pode-se esperar uma sinergia de esforços para obtenção de novas soluções para os desafios tecnológicos que estão nascendo hoje, para serem utilizados amanhã.

Obviamente, uma boa parte dos especialistas consultados pode estar no limiar entre a academia e a indústria, uma vez que profissionais das áreas de engenharia e desenvolvimento também podem estar vinculados a programas de pós-graduação em linhas de pesquisa bastante

distintas do seu dia a dia. Contudo, este pode ser um fator contribuidor para que esta sinergia seja alcançada.

Conforme o Estudo Prospectivo: Plásticos (2009), faz parte das diretrizes de ação para a indústria do plástico a maior integração entre as empresas do setor e as Instituições de Ciência e Tecnologia, como pode ser visto na Tabela 6. Assim, a participação dos especialistas acadêmicos também está de acordo com as políticas governamentais para o segmento.

Tabela 6 - Diretrizes de Ação para a Indústria do Plástico. Fonte: Estudo Prospectivo: Plásticos - ABDI

Visão	Ser uma competidora de excelência, nos mercados interno e externo, com inovação, integração e equilíbrio entre os atores dos diferentes elos da cadeia de valor, seguindo padrões técnicos, éticos, legais e socioambientais		
Estratégia Síntese	Integrar a cadeia produtiva do plástico de forma a capacitar o setor de transformação no desenvolvimento sustentável de produtos e processos altamente competitivos no mercado interno e externo, por meio de talentos, tecnologias, infraestrutura e investimentos, mantendo contínuo processo de inovação para o setor.		
Foco Estratégico	Objetivos Estratégicos		
	Promover continuamente o desenvolvimento de equipamentos e periféricos na indústria de transformação		
	Aumentar a disponibilidade de programas públicos e privados para investimento em laboratórios de ICTs, em centros de PD&I de tecnologias aplicadas e em normalização de produtos		
	Apoiar programas de PD&I em áreas estratégicas: biopolímeros e que utilizam energia renovável em todo seu ciclo de vida, e em avaliação de ciclo de vida		
	Estruturar e desenvolver os processos de desenvolvimento e absorção de tecnologias prioritárias		
	2007 (Elementos de destaque)	Diretrizes de Ações	2022 (Elementos de destaque)
Inovação (INO)	Os empresários têm dificuldade na modernização do parque industrial em virtude da burocracia e elevados custos financeiros	Renovar o parque industrial e estabelecer novas parcerias para o desenvolvimento nacional de máquinas, equipamentos e periféricos	Existência de boa infraestrutura de máquinas, equipamentos e periféricos, em decorrência da integração da 2ª e 3ª gerações, ICTs e instituições de fomento
	Disponibilidade de recursos para ICTs e PD&I.	Investir nos laboratórios de ICTs e centros de PD&I existentes e captar recursos públicos e privados para a criação de novos centros tecnológicos	Os programas públicos investem e mantêm os laboratórios e centros nacionais existentes.
	Ampla disponibilidade de insumos e tecnologias para recursos renováveis	Estruturar um sistema para fomentar o desenvolvimento de plásticos renováveis e/ou biodegradáveis	Existe integração com tecnologias ambientais e tecnologias mais limpas de produção e de usos de plásticos
	Falta de integração entre ICTs e empresas para a conversão de tecnologias acadêmicas em tecnologias aplicadas	Promover a integração das ICTs com as empresas visando a busca de sinergias nos projetos de inovação	Maior integração entre ICTs e empresas promovendo a transformação rápida de tecnologias aplicadas.
	Potencial científico instalado é adequado para ser utilizado no desenvolvimento tecnológico	Estruturar e implementar os processos de desenvolvimento e absorção de tecnologias prioritárias de desenvolvimento das MPes	Liderança do Brasil em tecnologias de polímeros renováveis e biodegradáveis
	2007		2022

Para esta pesquisa foram selecionados 170 profissionais da academia tanto no Brasil quanto no exterior. Os perfis variam de professores da área de materiais, pesquisadores universitários e autores de artigos técnicos.

3.3 Envio dos questionários

Foi escolhido o sistema automático de envio de questionários via *internet: Question Pro* (www.questionpro.com). Com esta ferramenta é possível criar questionários próprios e cadastrar a base de dados de respondentes para os quais o sistema envia automaticamente o questionário. Pode-se, ainda, optar por enviar um comunicado a todos os respondentes por correio eletrônico onde se consta toda a apresentação do trabalho e o *link* que direciona o respondente diretamente à página da pesquisa para que as respostas sejam inseridas no sistema.

[Exit Survey >>](#)

100%

Em sua opinião, qual dos materiais listados abaixo terá uma maior importância em aplicações de engenharia nos próximos 20 anos?

Nylon 66

Polipropileno

Other

Figura 11 - Exemplo de página de pesquisa criada com o sistema *Question Pro*.

Neste trabalho optamos pelo segundo método de contato, onde a carta de apresentação foi enviada por correio eletrônico e na mesma mensagem foi incluído o *link* para a pesquisa.

O sistema *Question Pro* realiza automaticamente a compilação de todas as respostas após o prazo estabelecido para conclusão de cada rodada do questionário. Assim, é possível descarregar no computador um resumo de todas as respostas enviadas para análise detalhada, bem como de cada resposta individual.

Seguindo a metodologia adotada por Nakano (2007), a segunda rodada de questionamento solicitou aos respondentes que avaliassem suas respostas em relação aos resultados do grupo e, caso necessário, fizesse as alterações que julgasse apropriadas. Apenas um respondente alterou sua resposta.

3.4 Seleção dos respondentes

As fontes para seleção dos especialistas foram:

- a) Contatos profissionais
- b) Contatos acadêmicos
- c) Autores de artigos acadêmicos sobre os materiais pesquisados
- d) Professores e pesquisadores da área de engenharia de materiais

Os especialistas selecionados nestas fontes foram contatados por meio de correio eletrônico e carta de apresentação (Anexo A).

3.5 Análise dos dados

O sistema *Question Pro* realiza automaticamente o armazenamento, tabulação e análise estatística de distribuição das respostas de cada questão. Estes dados podem ser visualizados online, impressos ou descarregados no computador em arquivos manipuláveis.

Na pesquisa conduzida neste trabalho, especificamente, foram utilizados dois questionários idênticos mas em línguas diferentes, conforme citado anteriormente. Isto tornou impossível utilizar os dados diretamente compilados e calculados pelo sistema, uma vez que os bancos de dados do questionário em português e do questionário em inglês ficaram separados.

Dessa forma fez-se necessário descarregar os dados no computador em *softwares* como o Excel e Minitab. A Figura 12 ilustra um exemplo de tela do *software* Minitab. Estes *softwares* permitem o agrupamento dos dois bancos de dados, a tabulação das respostas, o cálculo estatístico das distribuições e a geração de gráficos destes dados estatísticos.

Para cada questão foram realizados os cálculos estatísticos adequados como percentuais, médias, desvios padrão e distribuição em quartis. Para as questões onde os respondentes elencaram alternativas utilizando a escala *Lickert* (pontuação crescente de 1 a 5, sendo 1 menor importância e 5 maior importância em relação ao tema da questão), foram criados histogramas para cada alternativa indicando a distribuição da nota individualmente. Estes histogramas podem ser visualizados no Anexo D.

A indicação de quartis foi feita, onde aplicável, utilizando-se o gráfico *box-plot*. Este gráfico ilustra a divisão das notas, conforme a Figura 13. Os votos destoantes do consenso geral são apresentados como *outliers* e indicados nos gráficos por um símbolo específico.

Além dos dados numéricos, foram incluídas questões dissertativas e todas as questões possuíram espaço para comentários dos respondentes. O sistema Question Pro, também armazena este tipo de informação e todos estes dados também foram descarregados e tabulados. Os comentários de questões específicas estão ligados às mesmas de forma que o respondente pôde justificar suas respostas, quando necessário, de forma rastreável.

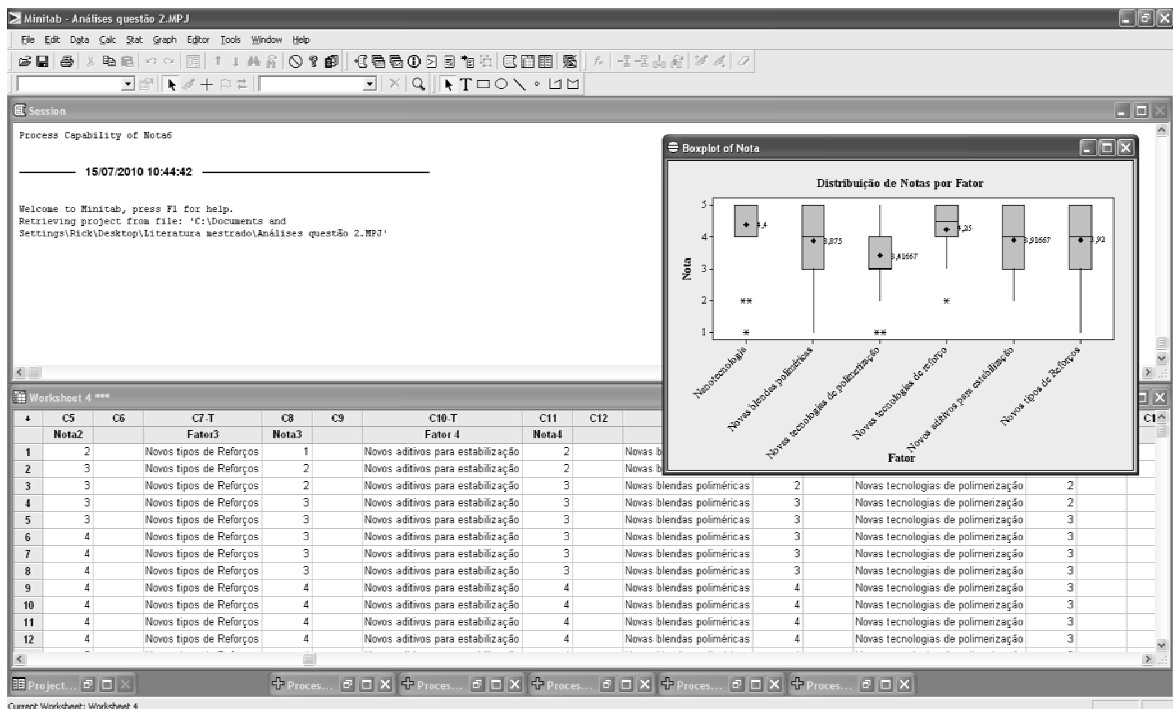


Figura 12 - Exemplo de tela do software Minitab

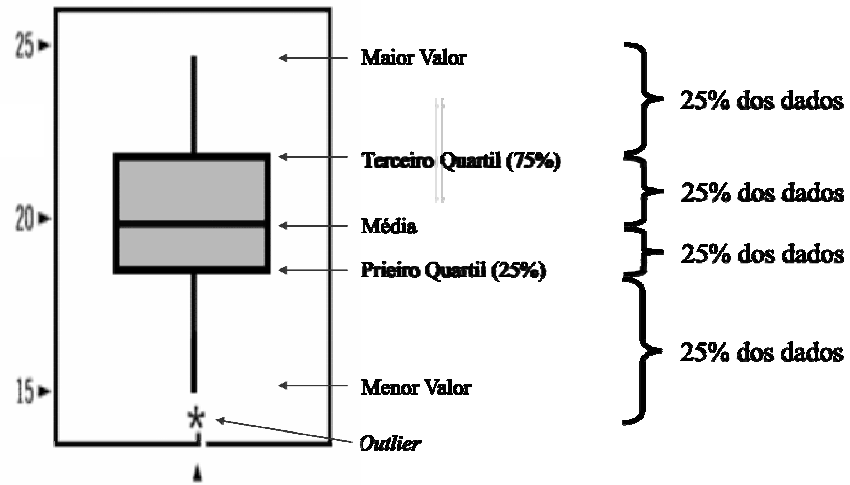


Figura 13 - Exemplo de gráfico *box-plot* e como apresenta a divisão das notas

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De todos os 286 especialistas selecionados, 23 não receberam as comunicações para participação na pesquisa devido a problemas com seus correios eletrônicos (nestes casos foi retornada uma mensagem de erro), 14 optaram por não responder a pesquisa indicando esta opção por correio eletrônico ou pelo próprio sistema e 7 não estavam disponíveis no período em que a pesquisa foi mantida ativa.

Com isto, o número de participantes efetivamente contatados foi de 242. Destes, 27 enviaram suas respostas, mesmo não tendo respondido a todas as perguntas, na primeira rodada, isto corresponde a 11,15 % do total de especialistas contatados. A Figura 14 ilustra a distribuição destes 242 especialistas contatados entre academia e indústria.

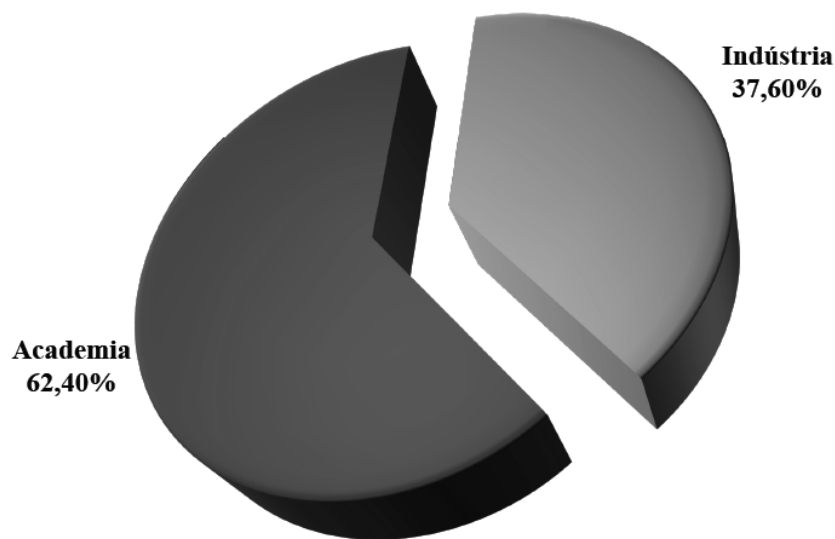


Figura 14 - Distribuição dos contatados

Conforme Wright e Giovinazzo (2000), é previsível uma abstenção de até 65% quando os especialistas são contatados pessoalmente ou caso possuam relacionamento próximo aos administradores da pesquisa. No caso deste trabalho não foi feito contato pessoal com os especialistas e mais de 90% dos contatados não possui nenhum relacionamento com os administradores.

Dessa forma consideramos a quantidade de respostas recebida coerente com as expectativas e adequada para chegarmos às conclusões apresentadas adiante. De fato, estudos

com a metodologia Delphi já foram realizados e publicados com número menor de respondentes, com resultados conclusivos (GRAHAM, et. al., 2003).

A seguir são analisados os resultados obtidos nas duas rodadas de questionamento utilizando a metodologia Delphi.

4.1 Perfil dos respondentes

Os 27 respondentes estavam distribuídos entre indústria e academia como ilustra a Figura 15.

Nota-se que, embora a academia representasse um percentual maior entre todos os contatados, do ponto de vista de participação efetiva, a indústria apresentou maior percentual. Uma possível interpretação para este fato é o de que a pesquisa conduzida neste estudo apresentou um caráter fortemente voltado a aplicações de mercado. Embora tenha tratado das questões tecnológicas, os benefícios dos resultados podem parecer mais úteis aos profissionais da indústria, sob o ponto de vista dos profissionais da academia.

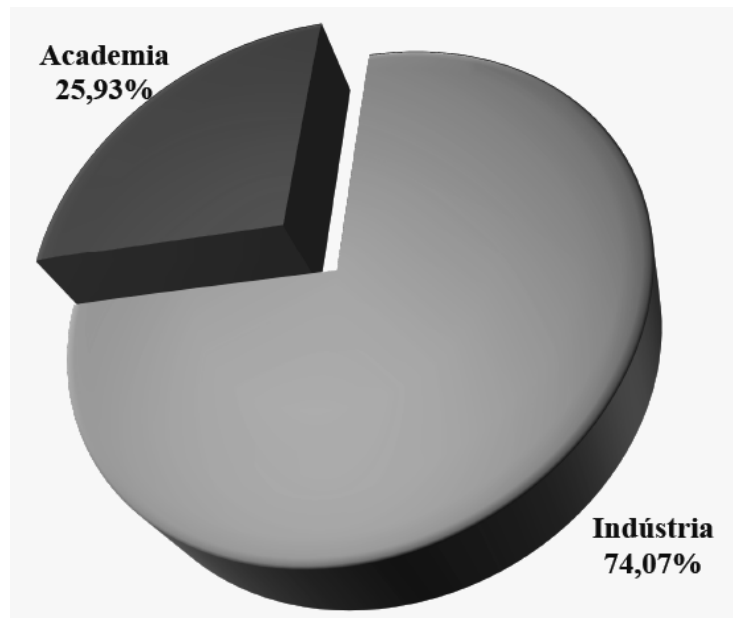


Figura 15 - Distribuição dos respondentes

Contudo, é importante destacar a importância destes resultados também para a academia. Uma vez que as evoluções tecnológicas acontecem primordialmente por necessidades não satisfeitas da sociedade e de empresas, é fundamental que a academia esteja sintonizada com

os passos destes de modo a continuar gerando linhas de pesquisa que promovam reais contribuições para a indústria e sociedade.

- a. **Questão 1 – Em sua opinião, qual dos materiais listados abaixo terá maior importância em aplicações de engenharia nos próximos 20 a 30 anos?**

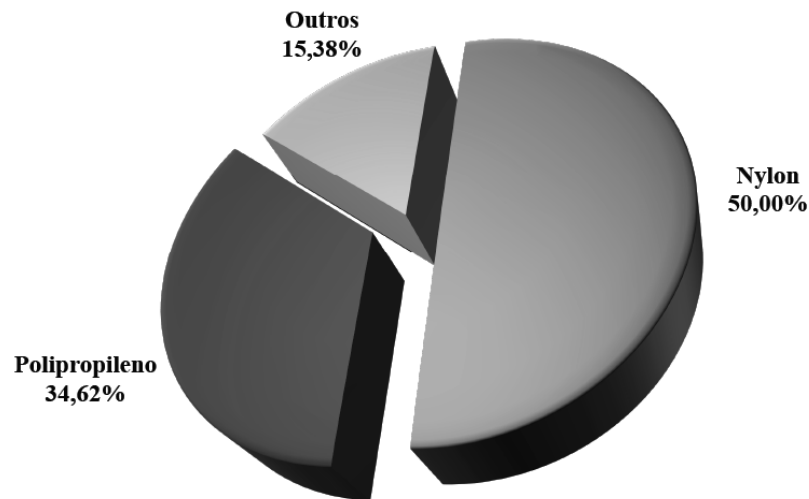


Figura 16 - Resultados da questão 1

A Figura 16 contém os resultados da questão 1, que contou com 26 dos 27 respondentes. O *Nylon 66* recebeu a maioria dos votos como material mais importante em aplicações de engenharia para os próximos 20 a 30 anos. Ainda assim, o PP recebeu uma quantidade significativa de votos o que ilustra a grande versatilidade de ambos os materiais em termos de potencial de aplicações. Contudo é interessante analisar também os comentários recebidos nessa questão para uma avaliação mais completa dos resultados.

Resumem-se a seguir os principais pontos comentados pelos respondentes como complemento à questão 1.

O PP foi citado por 4 respondentes (15,38 %) como mais importante nos próximos 20 a 30 anos devido ao seu menor custo comparado ao *Nylon 66*. De fato, os custos destes materiais podem apresentar diferenças significativas.

Contudo, é importante salientar que na sua forma natural, ou seja, sem reforços, especialmente o PP, possui pouco potencial de aplicações de engenharia. Como apontado por 6 respondentes (23,08 %), a possibilidade de utilização do PP em aplicações de engenharia vem

especialmente da possibilidade de modificar e reforçar este material com fibras de vidro, convencionais ou longas, cargas minerais, nanocargas e mesmo fibras naturais.

Naturalmente, os processos necessários à incorporação de carga ao PP elevam os custos do material até próximo dos custos das resinas de Nylon 66 reforçadas. Neste cenário, outros fatores, como as propriedades de cada material, serão decisivos na classificação de importância do material em aplicações de engenharia.

Ainda referente à questão 1, quatro respondentes (15,38 %) apontaram outros materiais como mais importantes em aplicações de engenharia no período analisado. Destes, os materiais indicados são:

- a) PET – especialmente o PET de fontes sustentáveis como reciclado pós-consumo.
- b) Nylon 6
- c) Copolímeros de Olefina Cíclica – COC
- d) PEEK

Destes materiais indicados nota-se uma tendência de materiais com maior estabilidade a altas temperaturas. Mesmo um respondente que selecionou o Nylon 66 na questão 1, aponta como potenciais alternativas materiais de alto desempenho como as polissulfonas e poliimidas, notórios por sua performance térmica.

Tendo em vista essa tendência de elevação de temperatura nas aplicações de engenharia, é possível visualizar um cenário onde gradativamente os materiais analisados mudam de posição em importância. Até o limite de temperatura de 120 - 130 °C tanto o PP quanto o Nylon 66 podem apresentar importância significativa à medida que novos compostos são desenvolvidos. Neste cenário os custos dos materiais, ponderados em função do design das peças e somados aos custos de processamento serão definitivos em relação à escolha do material. À medida que as exigências térmicas continuem em elevação, definitivamente materiais de alto desempenho serão necessários como os indicados pelos respondentes.

b. Questão 2 – Quais fatores você considera mais significativos para o aprimoramento de propriedades dos materiais listados na questão anterior? Classifique de 1 a 5, sendo 1 pouco importante e 5 muito importante.

Os resultados da questão 2 estão ilustrados na Figura 17. Na Figura 18 pode-se visualizar a distribuição das notas, as médias e quartis. Os fatores apresentados foram classificados em função da média na nota recebida. A seguir cada fator é analisado separadamente.

A grande maioria dos respondentes aponta a nanotecnologia (91,67 % com notas entre 4 e 5) como o principal fator para o aprimoramento de propriedades dos materiais em estudo. O desvio padrão relativamente alto, comparado com outros fatores, se deve a notas baixas para este fator (identificados como *outliers* na Figura 18) sem comentários explicativos. Particularmente em polímeros semi-cristalinos, foi apontado que a nanotecnologia tem potencial significativo de aprimoramento.

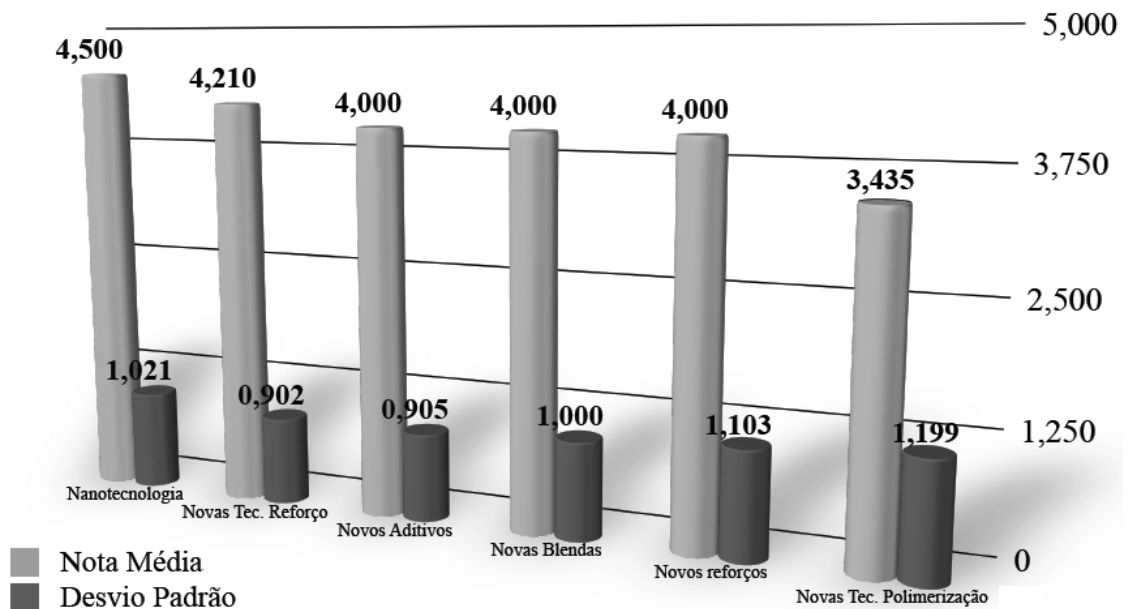


Figura 17 - Notas médias e desvios padrão para os fatores listados na questão 2

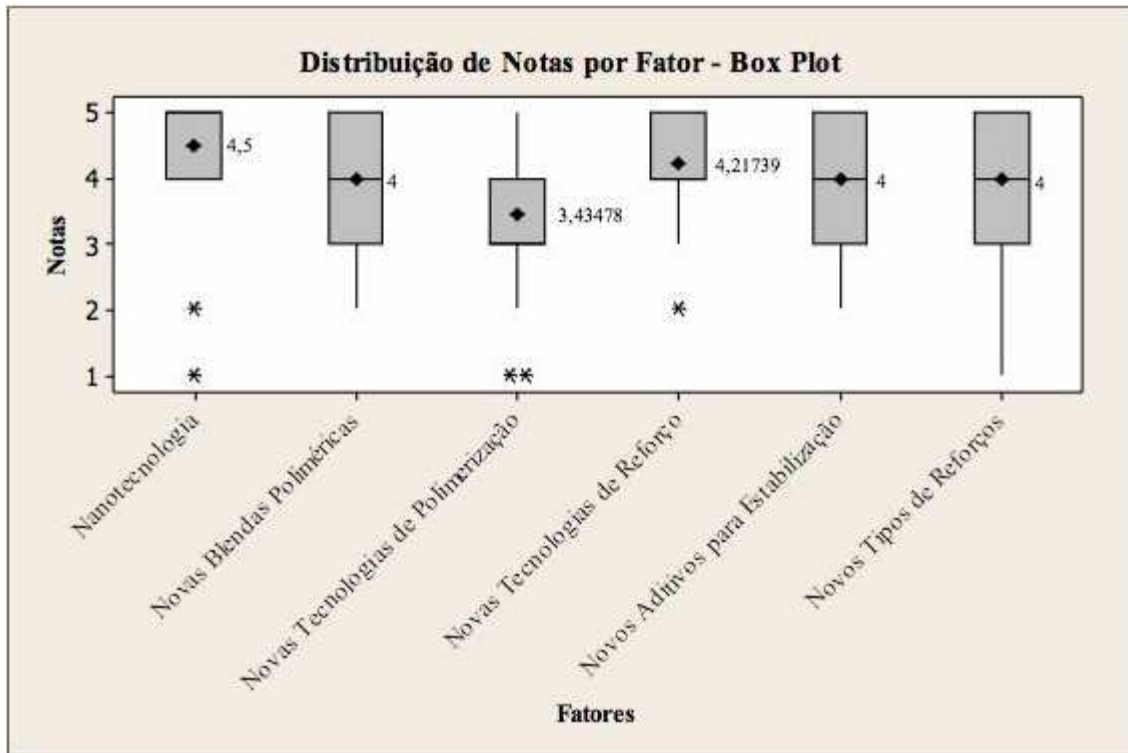


Figura 18 - Distribuição de notas por fator referente à questão 2

Conforme analisado na discussão da questão 1, a tendência de aumento de temperatura nas aplicações de engenharia exigirá uma melhor proteção dos materiais poliméricos a este ambiente, seja por meio de novos aditivos, novos tipos de materiais e blendas, seja por novas técnicas de polimerização. Estes itens tiveram comentários interessantes sintetizados a seguir.

Um respondente (4,17 %) menciona como fator fundamental elevar a performance dos polímeros de engenharia em termos de temperatura e comportamento oxidativo. A maneira mais direta para se atingir esta elevação de performance é a modificação dos materiais com aditivos mais eficientes e que não tenham efeito negativo em outras propriedades, como as mecânicas.

Outro respondente sinaliza que novas técnicas de polimerização ainda podem trazer aprimoramentos às resinas de *nylon* especialmente se combinadas aos outros fatores como novos reforços e desenvolvimentos em nanotecnologia.

O tema da sustentabilidade não foi esquecido nesta questão e novas blendas e técnicas de polimerização que viabilizem materiais sustentáveis também foram apontados como fatores de sucesso no horizonte de tempo da pesquisa.

c. **Questão 3 – Quais das propriedades listadas abaixo você considera mais propensas a aprimoramento? Classifique de 1 a 5, sendo 1 pouco propensa e 5 muito propensa.**

Os resultados, com a nota média e desvio padrão de cada propriedade estão ilustrados na Figura 19, são comentados a seguir.

Pode-se considerar que a propensão de um aprimoramento tecnológico é dependente dos seguintes fatores (DREJER e RIIS, 1991 e ANDERSON, 1997):

- Necessidade – por mais interessante que uma inovação possa parecer, só será atrativa para a indústria se puder gerar lucro. À medida que existe uma necessidade não atendida no mercado está criado o motivador para a inovação, pesquisa e desenvolvimento de novas alternativas de produto.
- Possibilidade técnica – é fundamental que existam técnicas para melhorar uma característica dos polímeros, seja pela incorporação de reforços e aditivos, seja pela modificação com outros polímeros (blendas e copolímeros) ou mesmo pela criação estruturas poliméricas completamente novas.

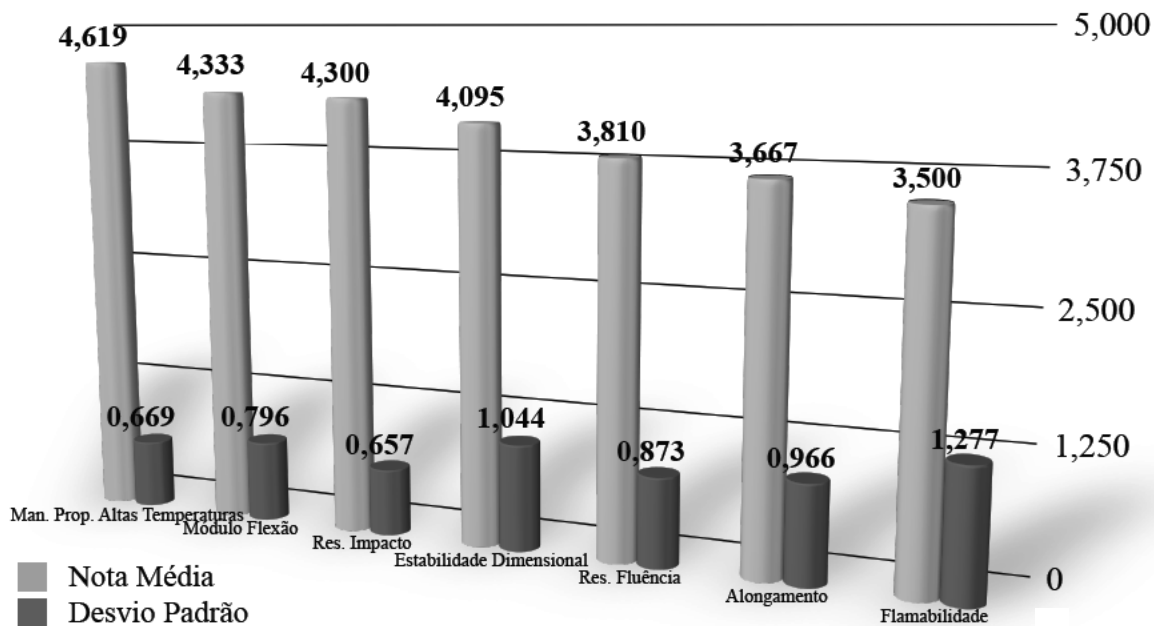


Figura 19 - Notas médias e desvios padrão para as propriedades listadas na questão 3

Tendo em conta estes fatores, e analisando os resultados da questão 1, percebe-se uma coerência de informações nos dados ilustrados na Figura 19. A necessidade de performance a altas temperaturas já foi mencionada como necessária para a evolução das aplicações de engenharia. Nota-se também que há homogeneidade entre os respondentes sobre esta propriedade, evidenciada pelo baixo desvio padrão em relação às outras propriedades.

O módulo de flexão obteve a segunda maior nota média nesta questão. De fato os respondentes indicaram em seus comentários que um bom balanço entre rigidez e tenacidade é essencial para materiais de engenharia. A resistência ao impacto, no terceiro lugar, atingiu uma nota média e desvios padrão muito próximos aos do módulo de flexão indicando que estas duas propriedades não devem progredir uma em detrimento da outra.

Curiosamente, o alongamento, que também está ligado com a tenacidade dos materiais não obteve uma nota significativa, ficando em penúltimo lugar. Isto provavelmente se deve ao fato de que a busca por materiais de maior performance tanto mecânica quanto térmica passará pela incorporação de cargas e reforços aos materiais que limitam o alongamento destes.

Este fato também pode ser corroborado pelos resultados da questão 2 apresentados anteriormente, onde os 2 fatores mais importantes para o aprimoramento de propriedades estão relacionados à incorporação de reforços aos materiais de engenharia.

Outro dado curioso foi o último lugar atribuído à flamabilidade. Em ambientes expostos a temperaturas cada vez mais elevadas, diminuição de dimensões de equipamentos e substituição de materiais convencionais como os metais, poderia se esperar que o comportamento de flamabilidade dos materiais de engenharia estivesse em constante aprimoramento. Seja pelo aumento de performance ou pela utilização de aditivos menos agressivos ao meio ambiente.

A necessidade de melhoria desta propriedade existe em muitas aplicações como as da indústria aeronáutica e eletroeletrônica. Do ponto de vista técnico, já apareceram no mercado materiais retardantes de chama com compostos não halogenados com performance, no mínimo, semelhante aos compostos tradicionais.

Não houve comentários específicos sobre flamabilidade na questão 3 que permitam conclusões mais detalhadas sobre esta propriedade, contudo, na questão 2 houve um comentário sobre a possibilidade de nanocompostos apresentarem melhores propriedades de flamabilidade.

d. Questão 4 – Caso os aprimoramentos de propriedades citados na questão anterior se concretizem, quais novas aplicações se tornarão importantes para os materiais em questão?

Esta questão começa a tratar o tema do ponto de vista de mercado e não possuiu alternativas, permitindo aos respondentes total liberdade de idéias sobre novas aplicações. A seguir são sumarizadas as aplicações indicadas.

Novamente aplicações em ambientes de alta temperatura foram apresentadas como uma tendência para os polímeros de engenharia. Particularmente aplicações automotivas no compartimento do motor e mesmo componentes do próprio motor, componentes de turbinas aeronáuticas, componentes de sistemas de geração de energia, como aquecedores solares e componentes médicos que necessitem de esterilização em autoclave. Aplicações em ambientes de alta temperatura apareceram nas respostas de 10 especialistas, o que corresponde a 50 % dos respondentes desta questão.

Ainda com relação a aplicações em altas temperaturas um fator destacado foi o comportamento termo-mecânico dos materiais, ou seja, a capacidade dos materiais de exercerem funções estruturais mesmo a altas temperaturas. Dentro deste cenário, a substituição de metais foi um cenário identificado por 7 respondentes ou 35 % do total. Outros materiais também foram citados como passíveis de serem substituídos pelos materiais plásticos de engenharia em estudo como o vidro, cerâmicas e mesmo outros plásticos de alto desempenho como LCP's, nylon 46 e PPS.

Apesar de aparecerem em número reduzido (2 respondentes ou 10 % do total), também foram citadas como potenciais as aplicações de consumo como embalagens, peças estéticas de alto brilho, utensílios domésticos e mobiliário.

e. Questão 5 – Quais áreas de aplicação você considera terão maior participação dos materiais em questão num cenário futuro de 20 a 30 anos? Classifique de 1 a 5, sendo 1 menor participação e 5 maior participação.

A necessidade de aumento de eficiência dos automóveis, que passa por economia de combustível, aumento de autonomia e redução de peso, sem esquecer da redução da emissão de poluentes, é uma grande força motriz para o uso de materiais plásticos. Este fato pode ser comprovado pelo resultado obtido na questão 5, ilustrado na Figura 20.

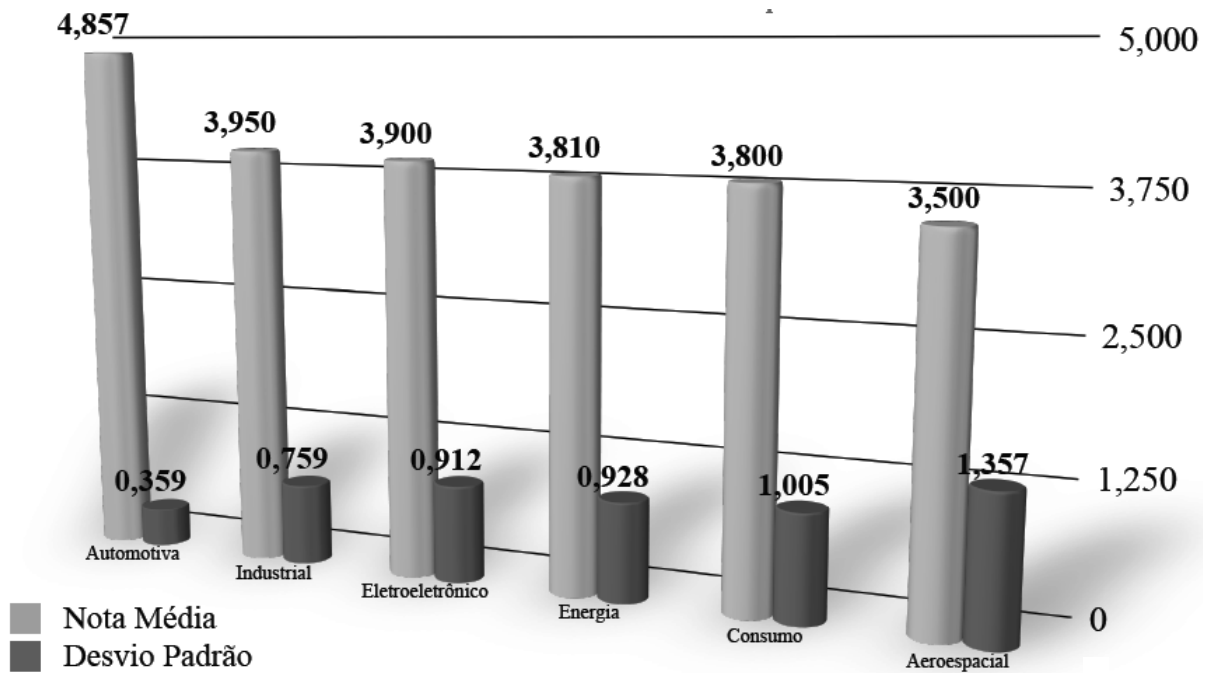


Figura 20 - Notas médias e desvios padrão para as áreas de aplicação referentes à questão 5

A alta nota recebida pela área automotiva, aliada ao baixo desvio padrão relativo às outras áreas de aplicação, mostra uma clara homogeneidade de opinião dos especialistas consultados. De fato o uso de plásticos em automóveis vem crescendo ano a ano. Atualmente, no Brasil, um carro possui, em média, 40 kg de peças plásticas (DORNELLES, 2007) enquanto que na Europa este número chega a 70 kg (RETO, 2008).

Considerando a produção de veículos nos últimos anos (Figura 21) e as projeções de crescimento apontadas por Fontaras e Samaras (2009), da ordem de 630 milhões de unidades a mais até o ano de 2030, apenas nos mercados dos Estados Unidos, Europa, China e Índia, pode-se considerar que este resultado é representativo da realidade.

As áreas Industrial, Eletroeletrônica, Energia e Consumo, apresentaram notas bastante próximas e uma boa homogeneidade como mostram seus desvios padrão. São áreas com diversos tipos de aplicações onde a flexibilidade na seleção de materiais é maior do que na área automotiva e onde os volumes de produção também são bastante elevados.

A última colocada foi a área Aeroespacial. Apesar de ser um setor conhecido por utilizar materiais e tecnologias de ponta, os volumes associados a este setor ficam bastante abaixo dos volumes da área automotiva, por exemplo.

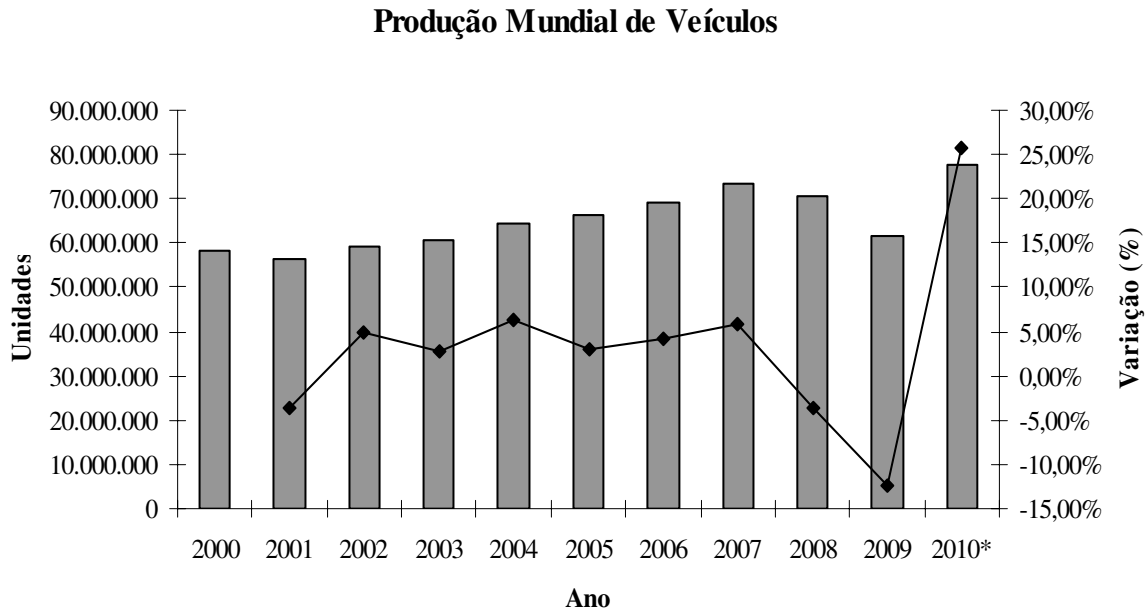


Figura 21 - Produção mundial de veículos. - Fonte: www.oica.net (acesso em 31/03/2011)

- f. Questão 6 – Qual sua estimativa de novos volumes de consumo, considerando um cenário futuro de 20 a 30 anos, para os materiais em questão, levando-se em conta as novas aplicações potenciais que você considerou na questão anterior?**

Novamente os respondentes tiveram liberdade de inserir suas respostas sem a necessidade de escolher entre alternativas pré-determinadas. Um total de 24 respondentes chegou até este ponto da pesquisa sendo que destes, 29,17 % indicaram não ter uma estimativa para os novos volumes de consumo, 25 % deixaram a resposta em branco, 29,17 % indicaram que haverá crescimento de volumes porém não souberam especificar um valor para a taxa de crescimento e 16,66 % indicaram que haverá crescimento em taxas específicas. Estes resultados estão ilustrados na Figura 22.

Para os respondentes que fixaram uma taxa de crescimento para o horizonte de tempo em estudo, três indicaram 5 a 10 % ao ano de crescimento com base nos volumes atuais e 1 respondente indicou que os volumes em 20 a 30 anos estarão 70 % maiores do que os atuais.



Figura 22 - Respostas da questão 6

Dentro deste grupo que indicou uma taxa de crescimento, percebe-se uma coerência de estimativas. Contudo, a grande maioria dos respondentes não soube indicar uma previsão de volumes para o futuro. Este dado é interessante pois pode indicar dúvidas dos especialistas quanto à velocidade com que os polímeros de engenharia em estudo substituirão os materiais convencionais, seja por questões técnicas ou por questões de aceitação por parte dos usuários.

g. Questão 7 – Quais as principais ameaças às evoluções citadas anteriormente e que terão maior impacto para os materiais em questão? Classifique de 1 a 5, sendo 1 pouco impactante e 5 muito impactante.

As notas médias e desvios padrão obtidos nesta questão estão ilustrados na Figura 23. A seguir estes resultados são analisados em maior profundidade.

Nota-se nos resultados desta questão, que não houve uma ameaça que se destacasse definitivamente das outras. Os altos desvios padrão, se comparados com outras respostas são uma boa indicação deste fato, em conjunto com o gráfico de distribuição de notas ilustrado na Figura 24.

Contudo, é possível identificar uma preocupação maior dos respondentes com a questão dos custos, tanto das matérias primas para fabricação dos polímeros de engenharia quanto da energia necessária para esta fabricação. Interligada com estas duas primeiras ameaças, a terceira colocada pode, inclusive ser a causadora de altas de preços em matérias primas. A

disponibilidade do petróleo, principal matéria prima dos polímeros de engenharia atualmente, ainda tem previsão de crescimento até o ano de 2035 (EIA, 2010), último dado disponível. Resta saber se este crescimento será suficiente para atender todas as demandas por esta matéria prima no que diz respeito ao seus mais diferentes usos, entre eles o de produção de polímeros.

Além disso, é evidente na indústria, uma busca crescente pela utilização de matérias primas renováveis. Embora as últimas colocadas na lista de ameaças tenham sido as pressões ambientais sobre os plásticos de engenharia, é possível que o mercado consumidor passe a exigir materiais mais amigáveis ao meio ambiente. Este fato pode aliviar a demanda por petróleo por um lado e sobrecarregar a demanda por matérias primas e processos renováveis por outro.

Ainda em relação a preços, foram apontados pelos respondentes os preços de materiais concorrentes como os metais. A substituição dos materiais convencionais por polímeros deve, invariavelmente passar por um benefício de custos para ter sucesso. Assim, caso os polímeros de engenharia não possam manter seus custos suficientemente baixos para propiciar este benefício, a evolução destes materiais em novas aplicações pode ficar comprometida.

Neste caso é importante ilustrar que os custos de substituição de materiais convencionais por polímeros de engenharia devem ser analisados de forma global. O preço do material em si deve ser apenas um componente desta análise que passa por custos de estocagem e manuseio, processamento, energia, desperdício, possibilidade de integração de funções, durabilidade, reciclabilidade e redução de peso.

Também foi apontada como uma ameaça importante a atividade em mercados emergentes que podem sacrificar qualidade em função de custos mais baixos. Esta ameaça só pode ser combatida com o aumento de eficiência produtiva em todos os elos da cadeia de transformação de polímeros de engenharia, bem como da conscientização de usuários sobre os benefícios de materiais plásticos nobres e processos adequadamente controlados.

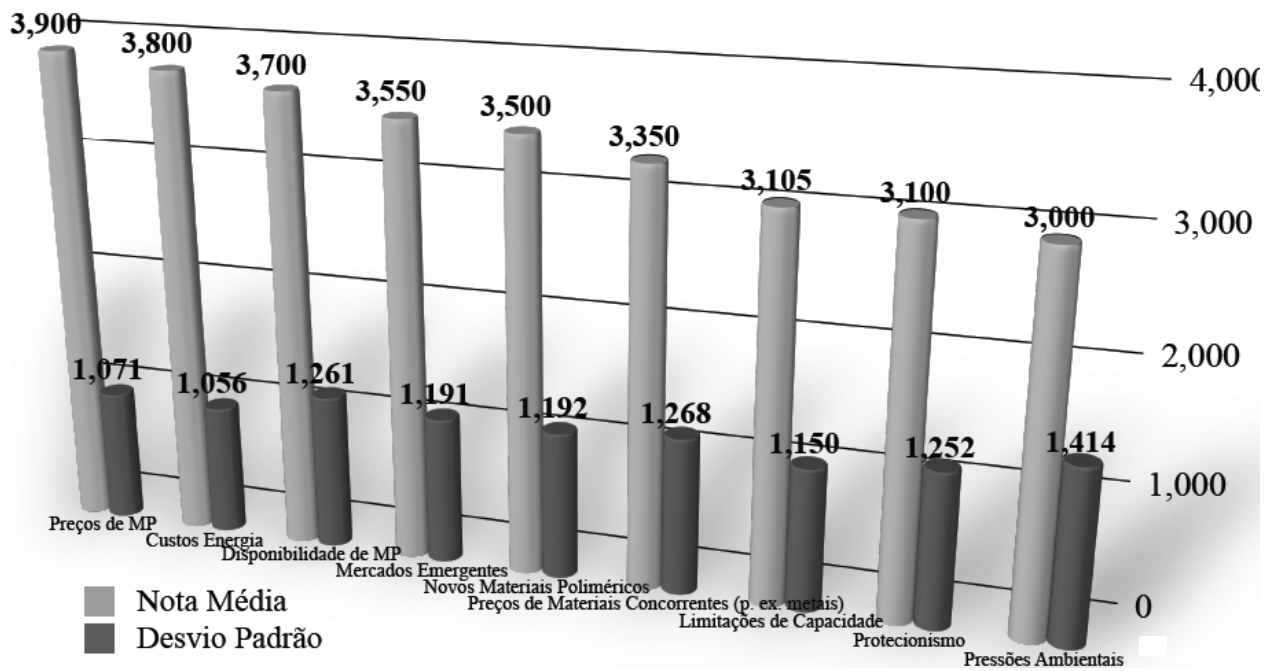


Figura 23 - Notas médias e desvios padrão para as principais ameaças referentes à questão 7

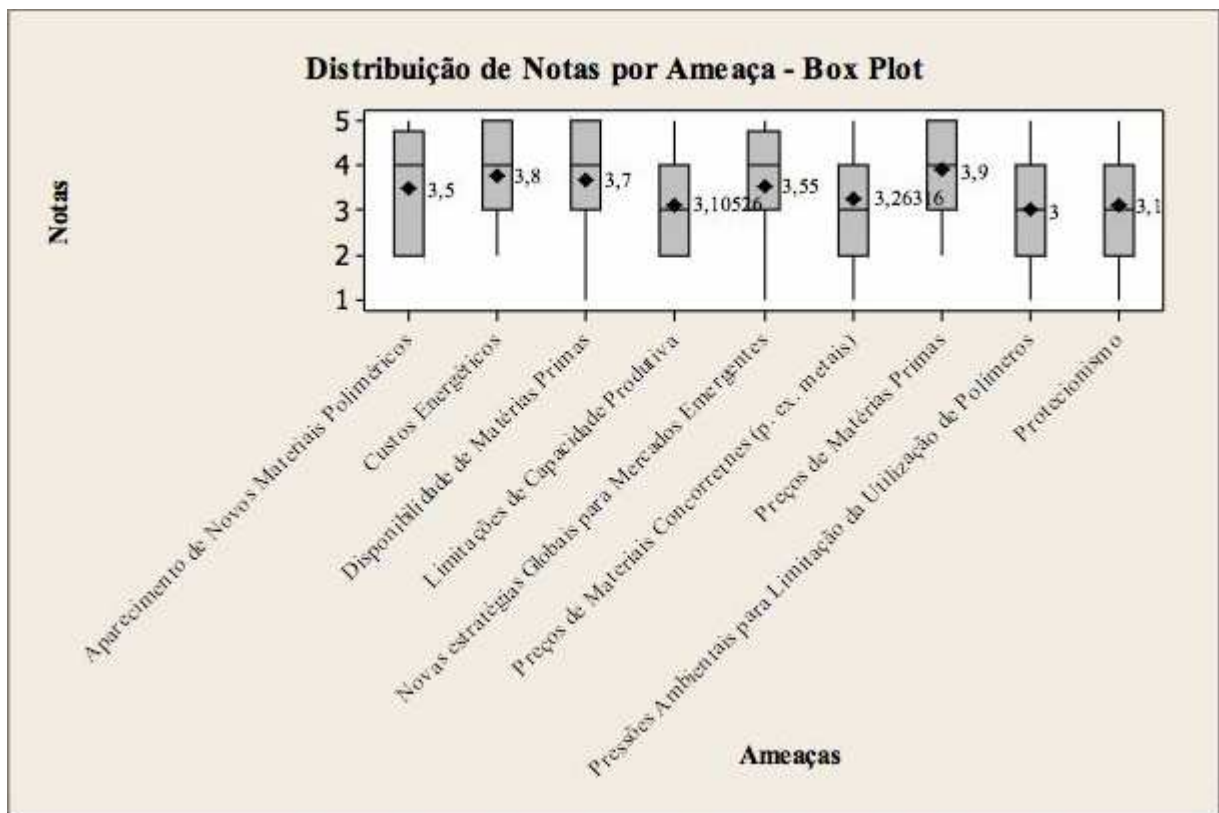


Figura 24 - Distribuição de notas por ameaça referentes à questão 7

h. Questão 8 – Que outros aprimoramentos serão necessários para que todo o potencial dos materiais em questão seja aproveitado?

A Figura 25 ilustra os resultados da questão 8 com os percentuais obtidos por cada fator. Cada respondente teve liberdade para votar em tantos aprimoramentos quanto julgasse apropriado. Dessa forma houve um total de 69 votos sendo que os resultados englobam a quantidades de votos que cada aprimoramento recebeu dos respondentes.

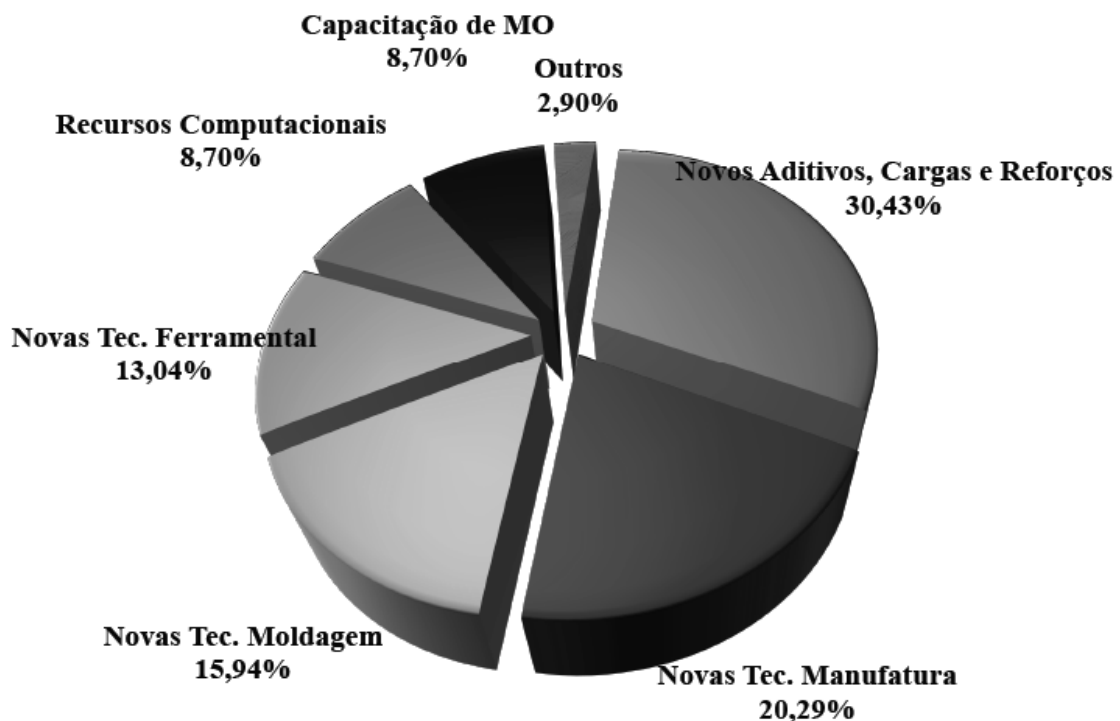


Figura 25 - Novos aprimoramentos e percentuais referentes à questão 8

Esse resultado está alinhado com os que foram obtidos na questão 2, onde os respondentes indicaram que os fatores mais significativos para o aprimoramento de propriedades estão relacionados aos tipos e tecnologias de reforço utilizados. Claramente, os respondentes demonstram uma expectativa quanto ao aparecimento de novos tipos de reforços e tecnologias de incorporação, que permitam ampliar os limites de utilização dos polímeros de engenharia nos próximos anos.

Analisando o segundo e o terceiro colocados na Figura 25 percebe-se também uma expectativa quanto a novas técnicas fabris, tanto na obtenção dos materiais em si quanto em sua moldagem. Em questões prévias, os respondentes não indicaram novas tecnologias de polimerização como um fator significativo para o aprimoramento, assim pode-se entender por novas tecnologias de manufatura itens como maior pureza e melhor uniformidade de propriedades.

De fato, para certas aplicações elétricas, por exemplo, o Nylon 66 deve sofrer processos de manufatura especiais para a eliminação de sais metálicos oriundos da polimerização, que podem comprometer as propriedades de isolamento e até levar à corrosão de fios e conectores de cobre.

Do ponto de vista de moldagem novas técnicas podem ampliar ainda mais a flexibilidade de desenho que os polímeros de engenharia apresentam atualmente, diminuir a quantidade de rejeito, aumentar a eficiência energética e reduzir ciclos produção além de possibilitar uma melhor manutenção de propriedades.

Ainda ligados ao tema da moldagem, estão as melhorias em ferramental que também podem permitir maior flexibilidade em projetos como a fabricação de peças extremamente complexas e a integração de diversas peças em uma única. Ciclos de produção otimizados também são, em grande parte, dependentes de aprimoramentos em ferramental. Finalmente, tecnologias de acabamento dentro do molde como rotulagem ou mesmo efeitos de texturização, podem contribuir para a obtenção de peças cada vez mais viáveis.

O uso de simulações computacionais, apesar de apontado por um baixo percentual de especialistas, pode trazer muitos benefícios para o desenvolvimento de peças de engenharia. Redução no tempo de execução de um projeto, otimização de desenho, minimização do uso de material e seleção de materiais automatizada são apenas alguns destes benefícios.

Curiosamente, a capacitação da mão de obra também recebeu uma porcentagem baixa de votos. De fato, particularmente no Brasil, existem diversas instituições destinadas ao ensino técnico e superior na área de polímeros. Nomes como SENAI, UNICAMP, ULBRA e UFSCar entre muitos outros, são consagrados neste ramo (ESTUDO PROSPECTIVO: PLÁSTICOS, 2009).

Contudo, a mão de obra mais de chão de fábrica como operadores de máquinas, ainda carece de maior capacitação. Mesmo profissionais formados nas instituições citadas e com larga

experiência na área de polímeros, necessitam de aprimoramento constante, especialmente com relação aos materiais de engenharia dos quais, constantemente, são obtidas melhorias de performance e desenvolvidas novas aplicações.

Exemplo desta necessidade é a sempre presente solicitação de treinamentos e palestras por parte da indústria de transformação aos grandes fabricantes de matéria prima.

Os comentários desta questão e outros aprimoramentos se concentraram nas áreas de nanotecnologia, materiais de fontes renováveis e novos aditivos. Todos estes fatores já foram analisados em questões anteriores.

5 CONCLUSÕES

Levando-se em conta a visão para a indústria do plástico apresentada no início deste trabalho, estabelecida pelo Governo Brasileiro nos "Programas para Fortalecer a Competitividade" e definida como: "ser uma competidora de excelência, nos mercados interno e externo, como inovação, integração e equilíbrio entre os atores dos diferentes elos da cadeia de valor, seguindo padrões técnicos, éticos, legais e socioambientais", percebe-se que os polímeros de engenharia são uma peça fundamental para a concretização destes objetivos.

Identifica-se nas respostas obtidas, informações importantes sobre o futuro destes materiais. O primeiro dado relevante é a percepção dos especialistas consultados sobre o potencial de crescimento no uso destes polímeros em aplicações de engenharia, tomando o espaço há muito ocupado por materiais tradicionais.

Os mercados onde, hoje, os polímeros de engenharia são utilizados não devem sofrer alterações significativas, com a área Automotiva sendo o principal destino das peças e componentes fabricados com estes materiais. Contudo os segmentos Industrial, de Consumo, Eletroeletrônico e de Energia, dada a maior flexibilidade para desenvolvimento, podem apresentar mais espaço para crescimento. O perfil de aplicação nestes mercados apresenta tendência de mudança. Aplicações mais nobres que exijam mais dos materiais do ponto de vista termo-mecânico serão as mais exploradas.

Este potencial, conforme indicado nas respostas, está ligado à expectativa de aprimoramentos das propriedades destes materiais, ao surgimento de novos aditivos e reforços e novas tecnologias de manufatura, tanto nos fabricantes de resinas quanto nos transformadores.

Obviamente, a exploração deste potencial deverá contornar os obstáculos apontados, especialmente com relação à competitividade em custos com outros materiais concorrentes ou com mercados emergentes. Logicamente, o sucesso dos polímeros de engenharia em novas aplicações também dependerá de um cuidado com a manutenção da qualidade das peças nas quais estes materiais substituam materiais tradicionais como metais e cerâmicas.

A questão ambiental não deve ser esquecida. Novos materiais que utilizem matérias primas de fontes renováveis terão sua importância aumentada. Projetos de peças e métodos de fabricação que favoreçam a reciclagem de peças plásticas ajudarão a melhorar a imagem dos polímeros de vilões ambientais. Da mesma forma, políticas públicas que viabilizem e incentivem

a prática industrial da reciclagem serão fundamentais para a minimização dos resíduos plásticos no meio ambiente.

Finalmente aspectos como a capacitação de mão de obra não devem ficar relegados a um segundo plano. De fato, a concretização das conclusões apresentadas anteriormente só será efetivada se técnicos, engenheiros, administradores e operários em geral da indústria do plástico estiverem cientes e preparados para lidar com as novas exigências do mercado.

Espera-se que os resultados apresentados neste trabalho possam inspirar os profissionais de pesquisa e desenvolvimento da indústria e da academia e os responsáveis por políticas públicas e privadas do setor a unir esforços no sentido da busca do sucesso comum.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Apresentam-se algumas sugestões para trabalhos futuros:

Validação deste estudo via simulações de tendências e modelagens matemáticas.

Pesquisa de evolução tecnológica para outras “famílias” de polímeros de engenharia como poliacetais e poliésteres.

Pesquisa de evolução tecnológica para polímeros *commodities*.

Aprimoramento de propriedades de polímeros de engenharia utilizando nanotecnologia e matérias primas de fontes renováveis.

Aprofundamento de pesquisa de evolução tecnológica nos processos de manufatura e moldagem de polímeros.

Estudos técnico-econômicos para substituição de materiais tradicionais por polímeros de engenharia.

ANEXO A
Carta de Apresentação da Pesquisa - Português

Prezado Senhor, Prezada Senhora,

Meu nome é Ricardo Cuzziol e sou mestrando em Ciência e Tecnologia dos Materiais pela Universidade de Campinas - UNICAMP.

Estou desenvolvendo um projeto de pesquisa sobre evolução tecnológica de polímeros de engenharia no qual pretendo traçar um posicionamento de 20 a 30 anos para estes materiais.

Para esta tarefa utilizarei a metodologia Delphi de previsão tecnológica que se utiliza de um questionário com 10 perguntas sobre o tema e necessito de sua colaboração para o preenchimento do mesmo.

Serão necessários apenas 10 a 15 minutos para resposta e os resultados, após análise, serão reenviados para sua avaliação e registro.

Todos os dados colhidos serão tratados de forma confidencial. Solicito o preenchimento das respostas num prazo de 15 dias do recebimento desta mensagem.

Caso deseje tirar dúvidas ou fazer qualquer comentário, por favor entre em contato com r065564@dac.unicamp.br ou pelo telefone .

Para acessar o questionário basta clicar no link abaixo.

<http://questionpro.com/t/AD4e8ZHxf7>

Muito obrigado por sua participação.

Continua

ANEXO A

Carta de Apresentação da Pesquisa - Inglês

Dear Madam, Dear Sir,

My name is Ricardo V. Cuzziol de Carvalho and I'm a Masters Degree applicant at the University of Campinas - UNICAMP in Brazil.

I'm conducting a research project on the technological evolution of engineering polymers in which I hope to trace a future scenario for these materials for the next 20 to 30 years.

To accomplish this task it will be used the Delphi method for technological forecast that uses a small survey with 10 questions on the subject and I need your help in order to have it filled out.

It would take only 10 to 15 minutes to complete and the results, after statistical analysis will be returned for your record.

All information collected will be treated as confidential. I would like to request the survey to be filled out in 15 days from the receipt of this message.

In case you want to clear any doubts or in case of any comments, please feel free to contact me by e-mail r065546@dac.unicamp.br or phone .

Please click on this link to complete the survey:

<http://questionpro.com/t/AD4e8ZHXiB>

Thank you very much for your participation

ANEXO B

Questionário - Português

EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DOS POLÍMEROS DE ENGENHARIA (NYLON 66 E POLIPROPILENO).

Prezado Senhor, Prezada Senhora.

Você está convidado(a) a participar de nossa pesquisa Delphi sobre evolução tecnológica de polímeros de engenharia (Nylon 66 e PP). Nesta pesquisa, participarão respondentes especialistas do segmento de polímeros tanto da indústria quanto acadêmicos.

Selecionamos o Nylon 66 devido a sua grande representatividade no mercado de polímeros de engenharia bem como por sua versatilidade em aplicações. O PP foi selecionado pois representa uma importante opção em aplicações até então típicas para polímeros de engenharia como coletores de admissão automotivos entre outros.

Você poderá, entretanto, apontar outros materiais que considere importantes para esta pesquisa, se assim desejar.

Serão necessário apenas 10 a 15 minutos para o preenchimento do questionário e os resultados serão compartilhados com todos os participantes.

Sua participação é voluntária, anônima e não existe nenhum tipo de risco associado com este projeto. Caso se sinta desconfortável com qualquer questão, sinta-se livre para não respondê-la ou mesmo abandonar a pesquisa.

Caso tenha alguma dúvida sobre este projeto, entre em contato conosco pelo e-mail: r065564@dac.unicamp.br ou telefone (11) 8176-9727, com Ricardo Cuzziol.

Muito obrigado por sua participação, sua opinião será muito importante!

Para iniciar clique em Continue abaixo.

Caso se sinta confortável, por favor nos informe seu nome e e-mail para futuros contatos. Seus dados não serão divulgados e serão tratados de forma confidencial apenas para fins de controle. Obrigado

Nome

E-mail

1- Em sua opinião, qual dos materiais listados abaixo terá uma maior importância em aplicações de engenharia nos próximos 20 a 30 anos?

1. Nylon 66
2. Polipropileno
3. Outro

Continua

ANEXO B

Questionário – Português (Continuação)

Insira seus comentários sobre a questão anterior.

2- Quais fatores você considera mais significativos para o aprimoramento de propriedades dos materiais listados na questão anterior? Classifique de 1 a 5 sendo 1 pouco importante e 5 muito importante

	1	2	3	4	5	N/A
Novos Tipos de Reforços						
Novas Tecnologias de Reforço						
Novas Tecnologias de Polimerização						
Novas Blendas Poliméricas						
Novos Aditivos para Estabilização						
Nanotecnologia						

Insira seus comentários sobre a questão anterior. Caso queira adicionar algum fator não listado, utilize este espaço.

3- Quais das propriedades abaixo você considera mais propensas a aprimoramento? Classifique de 1 a 5, sendo 1 pouco propensa e 5 muito propensa.

	1	2	3	4	5	N/A
Módulo de Flexão						
Alongamento						
Resistência ao Impacto						
Manutenção de Propriedades a Altas Temperaturas						
Flamabilidade						
Estabilidade Dimensional						
Resistência à Fluência						

Continua

ANEXO B

Questionário – Português (Continuação)

Insira seus comentários sobre a questão anterior. Caso queira adicionar alguma propriedade não listada, utilize este espaço.

4- Caso os aprimoramentos de propriedades citados na anteriormente se concretizem, quais novas aplicações se tornarão importantes para os materiais em questão?

5- Quais áreas de aplicação você considera terão maior participação dos materiais em questão num cenário futuro de 20 a 30 anos? Classifique de 1 a 5 sendo 1 menor participação e 5 maior participação.

	1	2	3	4	5	N/A
Automotiva						
Energia						
Consumo						
Industrial						
Aeroespacial						
Eletroeletrônico						

Insira seus comentários sobre a questão anterior.

6- Qual sua estimativa de novos volumes de consumo, considerando um cenário futuro de 20 a 30 anos, para os materiais em questão, levando-se em conta as novas aplicações potenciais que você considerou na questão anterior?

Continua

ANEXO B
Questionário – Português (Continuação)

7- Quais são as principais ameaças às evoluções citadas anteriormente e que terão maior impacto para os materiais em questão? Classifique de 1 a 5, sendo 1 pouco impactante e 5 muito impactante.

	1	2	3	4	5	N/A
Preços das Matérias Primas						
Novas Estratégias Globais para Mercados Emergentes						
Protecionismo						
Custos Energéticos						
Disponibilidade de Matérias Primas						
Preços de Materiais Concorrentes (p. ex. Metais)						
Limitações de Capacidade Produtiva						
Aparecimento de Novos Materiais Poliméricos						
Pressões Ambientais para Limitação da Utilização de Polímeros						

Insira seus comentários sobre a questão anterior. Caso queira incluir alguma ameaça que não tenha sido listada utilize este espaço.

Continua

ANEXO B**Questionário – Português (Continuação)**

8- Que outros aprimoramentos serão necessários para que todo o potencial dos materiais em questão sejam aproveitados? Selecione todos os que se aplicam.

1. Novas Tecnologias de Manufatura
2. Novas Tecnologias de Moldagem
3. Novas Tecnologias de Ferramental
4. Novos Aditivos, Cargas e Reforços
5. Recursos Computacionais para Análises de Elementos Finitos (FEA)
6. Capacitação de Mão de Obra
7. Outro

Insira seus comentários sobre a questão anterior. Caso queira incluir outro fator não listado, utilize este espaço.

ANEXO C

Questionário - Inglês

TECHNOLOGICAL EVOLUTION OF ENGINEERING POLYMERS (NYLON 66 AND POLYPROPYLENE).

Dear Madam, Dear Sir,

You are invited to participate on our Delphi survey on the technological evolution of engineering polymers (Nylon 66 and PP). On this survey, experts from the plastic industry and academy will give their opinions.

We have selected Nylon 66 for its great representativity on the engineering polymers market and for its versatility in use. PP was selected because it is figuring out as a major option for applications that were typical for engineering polymers like air intake manifolds and others.

You will, however, have the opportunity to list other materials you consider important to be investigated, if you'd like.

It will take only 10 to 15 minutes to answer all questions and the results will be shared with all participants.

Your participation is voluntary, anonymous and there are no risks associated with this project. In case you feel uncomfortable with any question, please feel free not to answer it or to exit the survey page.

In case you have any doubt about this project, please get in touch by e-mail: r065564@dac.unicamp.br or phone: (55 11) 8176-9727, with Ricardo V. Cuzziol de Carvalho.

Thank you very much for you participation, your inputs will be of great importance for us.

To get started just click on "Continue" below.

In case you feel comfortable, please insert your name and a-mail for future contacts. Your information will be kept confidential and will be treated for control purposes only. Thanks.

Name

E-mail

1- In your opinion, which of the following materials will have a greater importance in engineering applications 20 to 30 years from now?

1. Nylon 66
2. Polypropilene
3. Other

Continua

ANEXO C
Questionário – Inglês (Continuação)

Comments on previous question.

--

2- Which factors do you consider more important for the improvement on the properties of the materials listed on question one? Check 1 to 5, where 1 = little importance and 5 = great importance.

	1	2	3	4	5	N/A
New Reinforcement Types						
New reinforcement Technologies						
New Polimerization Technologies						
New Polymer Blends						
New Stabilization Additives						
Nanotechnology						

Comments on previous question.. If you would like to include a factor not covered on the items, please use this space.

--

3- Which of the following properties do you consider has more probability to be improved on the next 20 to 30 years? Check 1 to 5, where 1 = low probability and 5 = high probability.

	1	2	3	4	5	N/A
Flexural Modulus						
Elongation						
Impact Resistance						
High Temperature Properties						
Flammability						
Dimensional Stability						
Creep Resistance						

Continua

ANEXO C

Questionário – Inglês (Continuação)

Comments on previous question. If you would like to add other properties not covered, please use this space.

4- In case the improvements listed on the previous question are achieved, which new applications do you believe will be important for the materials under investigation?

5- Which segments of applications do you believe will have a major participation of the subject materials taking into account a future scenarion of 20 to 30 years? Check from 1 to 5, where 1 = small participation and 5 = major participation.

	1	2	3	4	5	N/A
Automotive						
Energy						
Consumer						
Industrial						
Aerospace						
Electro-electronic						

Comments on previous question

6- What is your estimation for new volumes of commercialization for the materials under investigation, considering a 20 to 30 years future scenarion, taking into account the new applications you mentioned on the previous question?

Continua

ANEXO C

Questionário – Inglês (Continuação)

7- In your opinion, which are the main threats that will impact the improvements mentioned on previous questions for the materials under investigation? Check 1 to 5, where 1 = low impact and 5 = high impact

	1	2	3	4	5	N/A
Raw Material Prices						
Raw Material Availability						
New Global Strategies for Emerging Markets						
Protectionism						
Energy Costs						
Competitive Material Prices (i. e. Metals)						
Limited Manufacturing Capacity						
Development of New Polymers						
Environmental Pressure for the Limitation of Plastics Usage						

Comments on previous question. If you would like to add a threat that is not listed please use this space.

Continua

ANEXO C

Questionário – Inglês (Continuação)

8- What other improvements are needed to allow all the potential of these materials (Nylon 66 and PP) to be explored? Select all that apply.

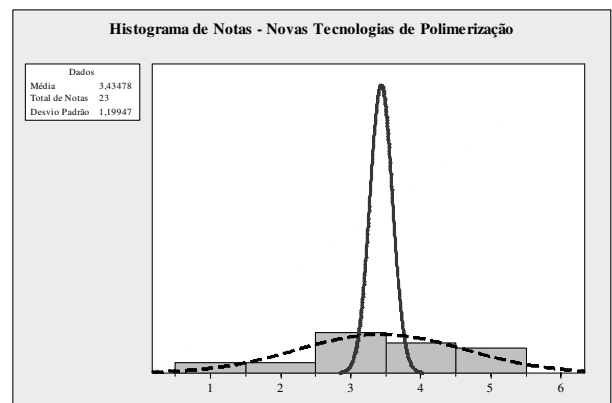
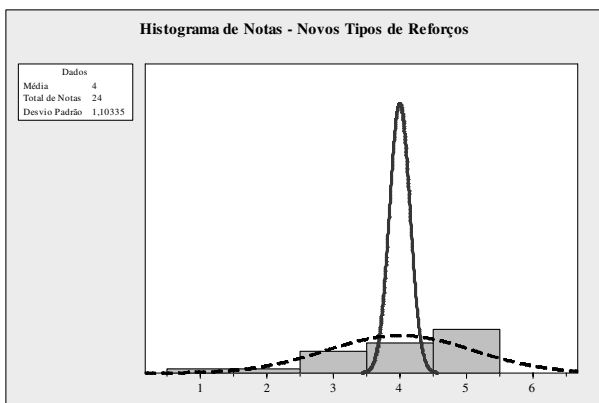
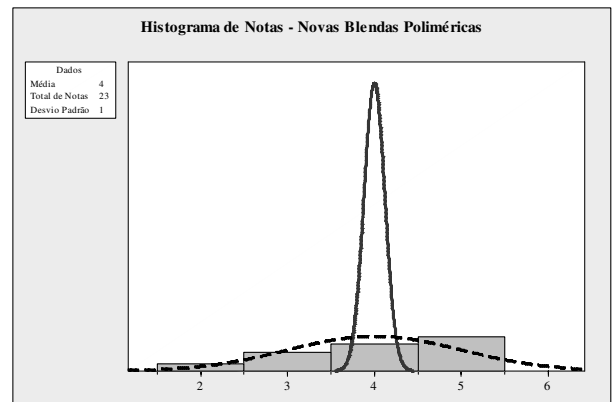
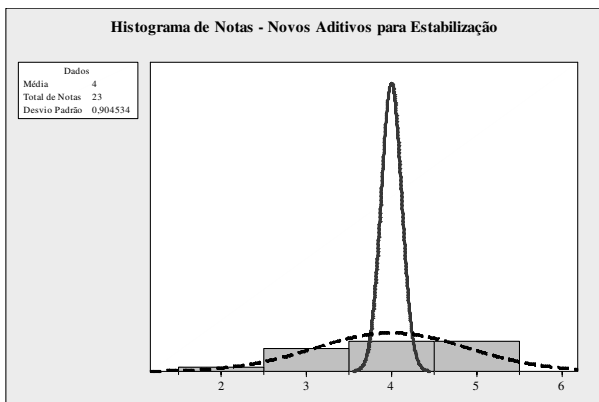
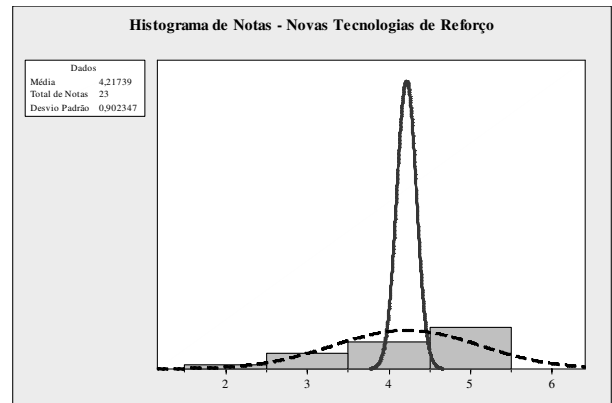
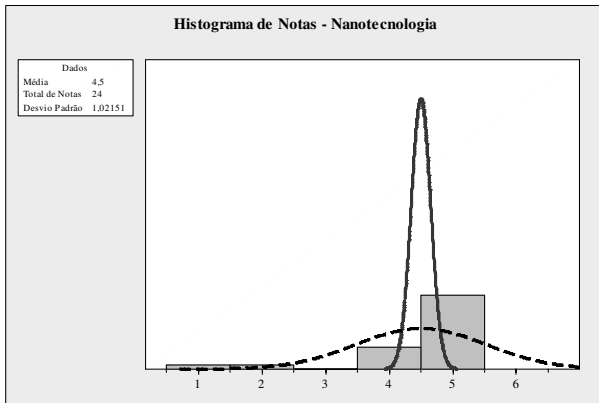
8. New Manufacturing Technologies
9. New Molding Technologies
10. New Tooling Technologies
11. New Additives, Fillers and Reinforcements
12. Computational Resources for Finite Element Analysis (FEA)
13. Qualified Personnel
14. Other

Comments on previous question. If you would like to add another factor that is not listed please use this space.

ANEXO D

Histogramas

Questão 2

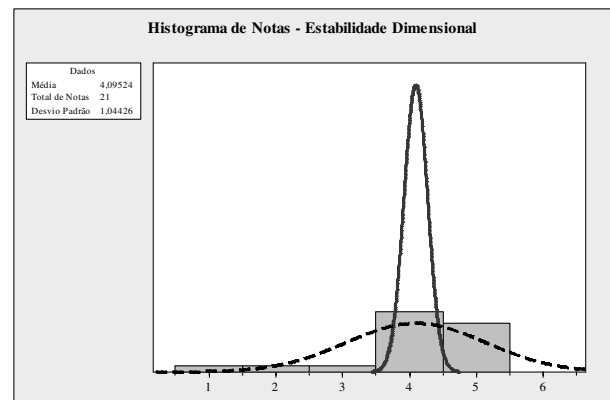
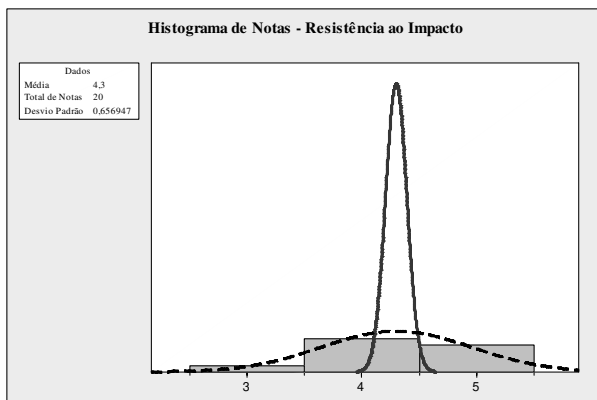
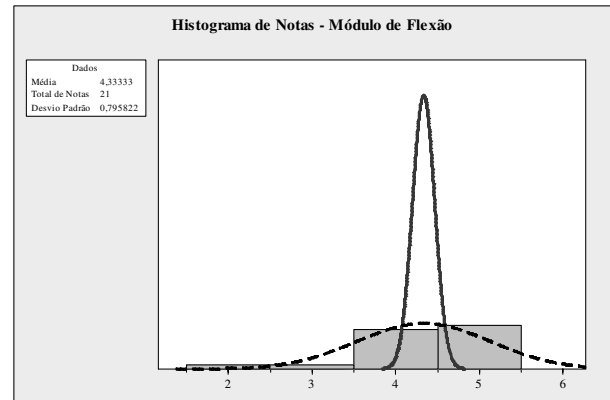
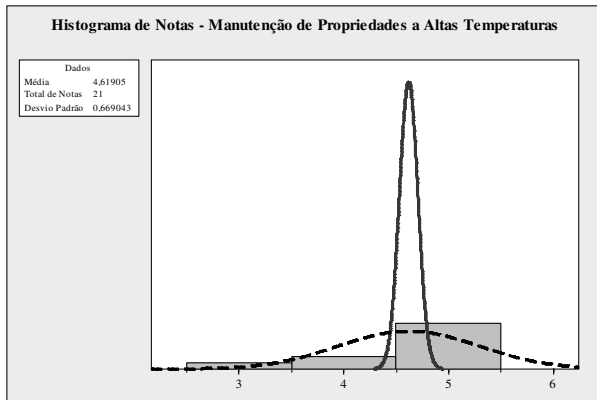


Continua

ANEXO D

Histogramas

Questão 3

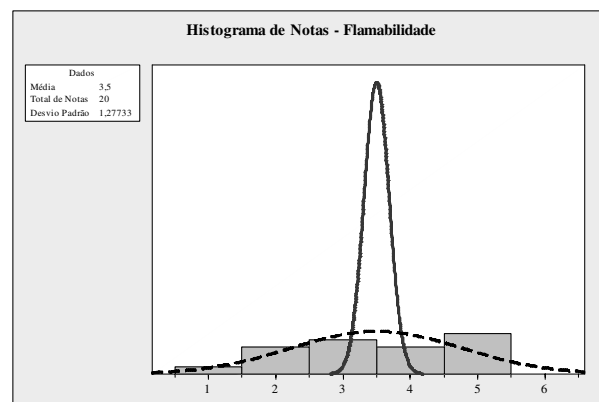
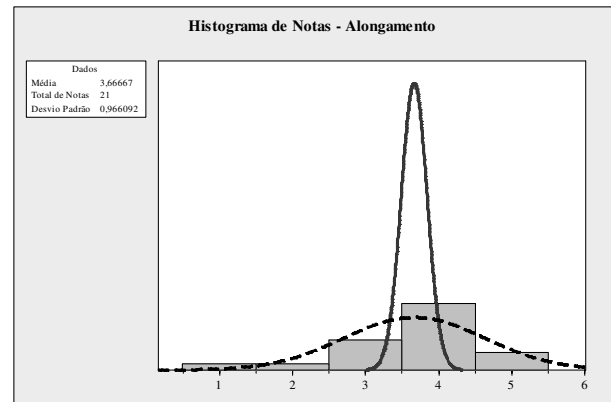
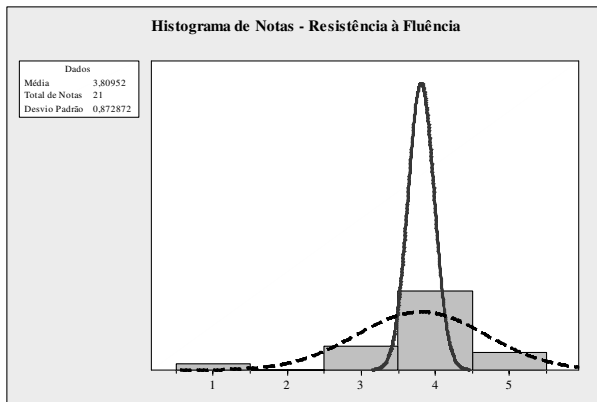


Continua

ANEXO D

Histogramas

Questão 3

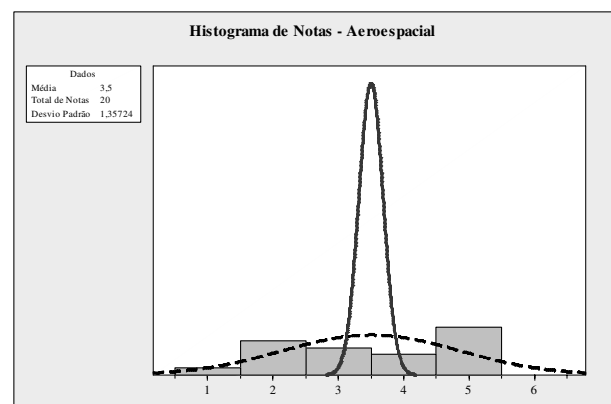
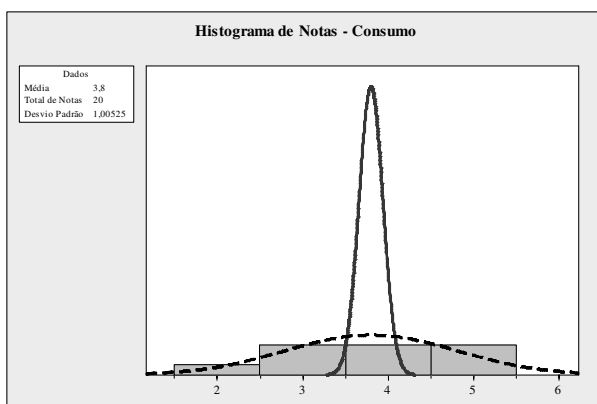
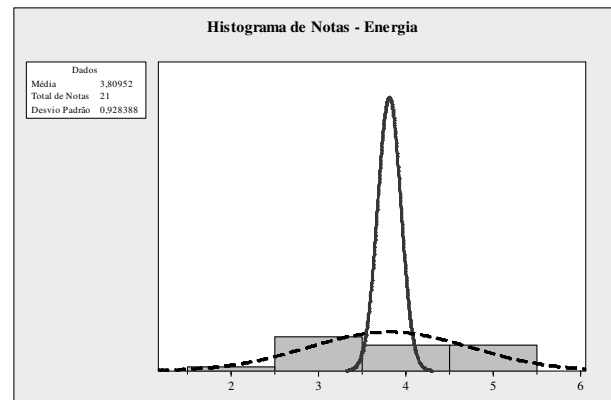
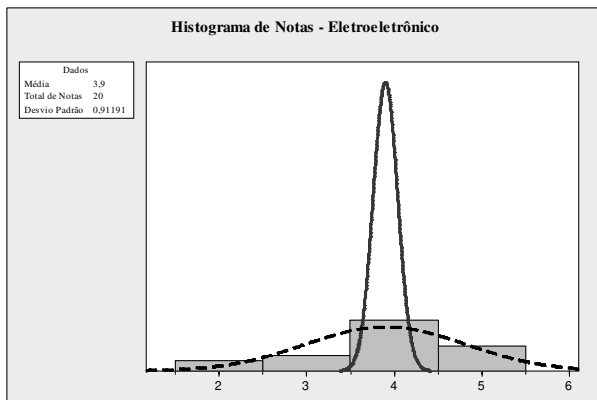
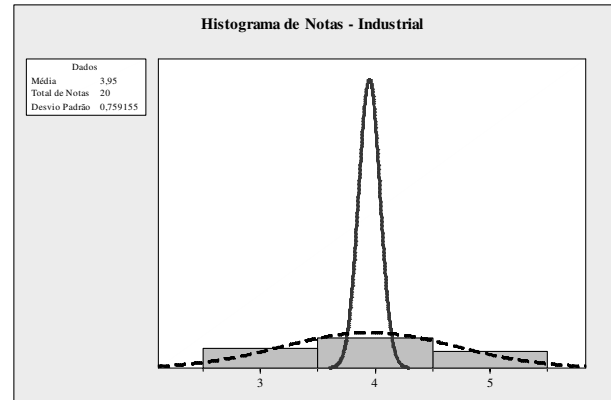
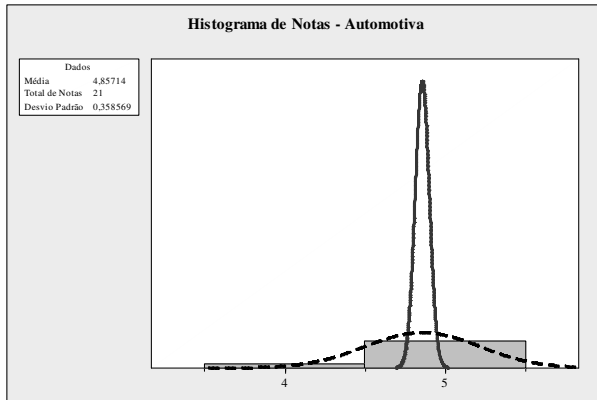


Continua

ANEXO D

Histogramas

Questão 4

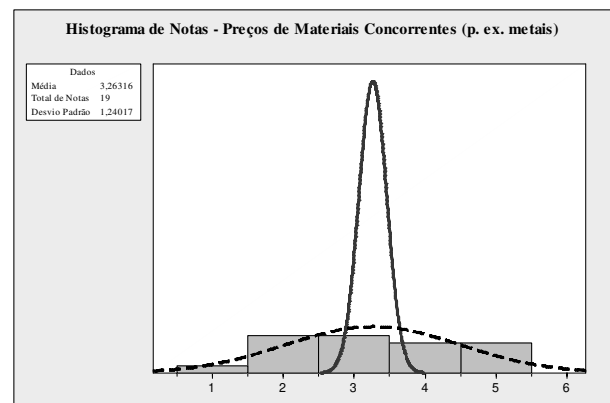
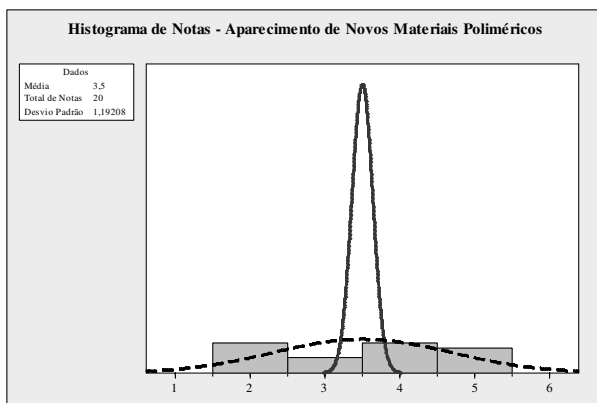
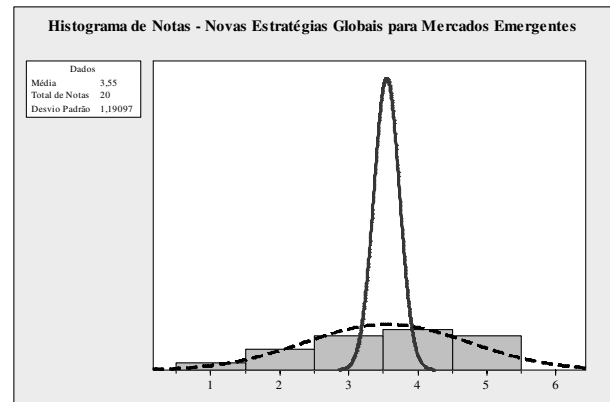
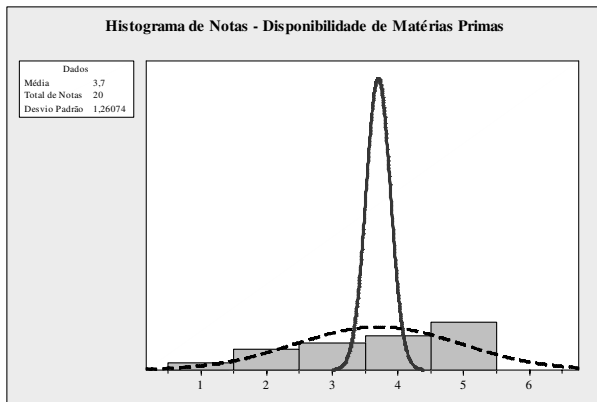
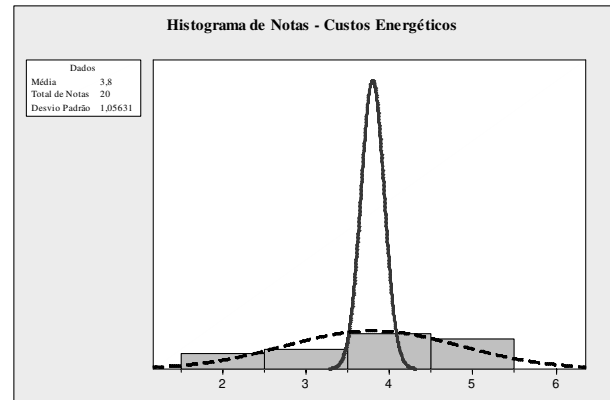
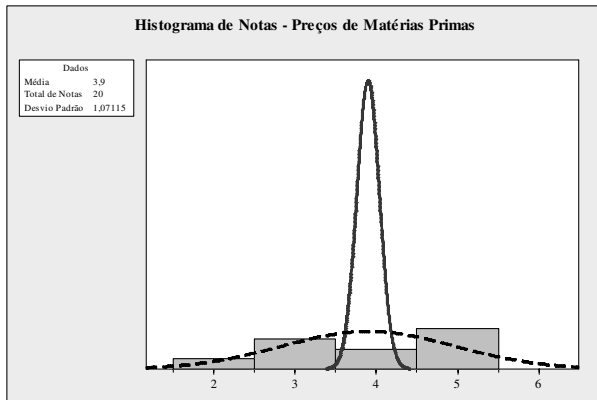


Continua

ANEXO D

Histogramas

Questão 7

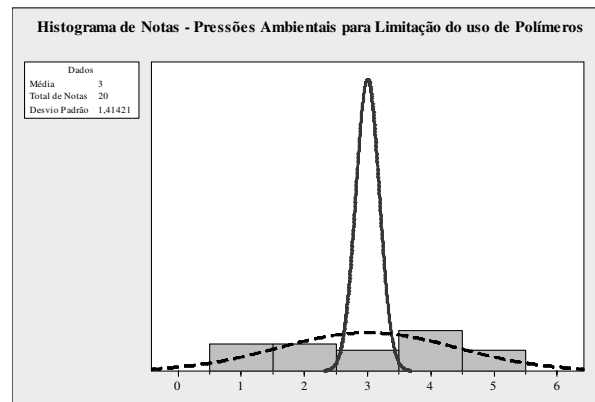
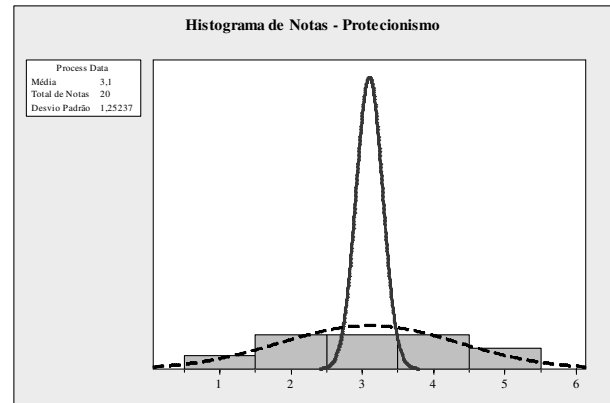
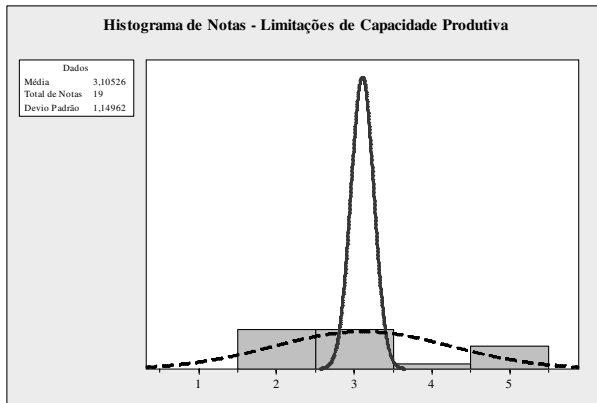


Continua

ANEXO D

Histogramas

Questão 7



7 BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, Estudo Prospectivo: Plásticos, Série Cadernos da Indústria ABDI, v. XII, Brasília, 2009, 168 p.

ANDERSON, J., Future directions of R&D in the process industries, In: Computers in Industry, n. 34, pp 161-172, 1997

ASHBY, M. F., Materials Selection in Mechanical Design, 3rd Ed., Butterworth Heinemann, 2005

BRYDSON, J. A., Plastic Materials, 7^a Ed., Butterworth Heinemann.

CHAKRAVARTI, A. K., VASANTA, B., KRISHNAN, A. S. A., DUBASH, R. K., Modified Delphi Methodology for Technology Forecasting – Case Study of Electronics and Information Technology in India, In: Technological Forecasting and Social Change, n. 58, p. 155 – 165, 1998.

CICARELLI, J., The Future of Economics – A Delphi Study. In: In: Technological Forecasting and Social Change, n. 25 p. 139 – 157, 1984

CRAWFORD, R. J., Plastics Engineering, 3rd Ed. Butterworth Heinemann

DORNELLES FILHO, A. M. L., Critérios na seleção de plásticos de engenharia para aplicações em veículos populares no Brasil. Dissertação (Mestre) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

DUPONT - POLÍMEROS DE PERFORMANCE, Design Information on Minlon® - Zytel® Resins, Module II, 61 p. 1998

EIA, UNITED STATES ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, International Energy Outlook 2010, Appendix G – Projections of Liquid Fuels and Other Petroleum Production in Five Cases. Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/ieopol.pdf>. Acesso em : 10 jul. 2010.

ENGINEERING THERMOPLASTICS - OVERVIEW, In: ENCYCLOPEDIA OF POLYMER SCIENCE AND TECHNOLOGY, v. 02, p. 307, 2010

ENZER, S., Some Development in Plastics and Competing Materials by 1985, Report-R17, Institute for the Future, 1971.

FONTARAS, G., SAMARAS, Z., On the way to 130 g CO₂/km – Estimating the future characteristics of the average European passenger car, Aristotle University Thessaloniki, Thessaloniki, Grécia, 2009.

GRAHAM, B., REGEHR, G., WRIGHT, J. G., Delphi as a method to establish consensus for diagnostic criteria. In: Journal of Clinical Epidemiology, n. 56, p. 1150 – 1156, 2003.

HUCKFELDT, V. E., JUDD, R. C., Issues in Large Scale Delphi Studies. In: Technological Forecasting and Social Change, n. 6 p. 75 – 88, 1974.

INTERNATIONAL ORGANISATION OF MOTOR VEHICLES MANUFACTURERS, OICA, Production Statistics. Disponível em www.oica.net. Acesso em 08 jul. 2010.

LANDETA, J., Current validity of the Delphi method in social sciences. Technological Forecasting and Social Change, n. 73 p. 467 – 482, 2006.

MACHADO, G., Estudo da Morfologia e Cristalinidade em Polipropileno Isotático Submetido a Deformação Uniaxial em Temperatura Ambiente, 2002, 199 p, Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

MARTINO, J. P., A review of selected recent advances in technological forecasting. In: Technological Forecasting and Social Change, n. 30 p. 719 – 733, 2003.

NAKANO, M. S., Previsão tecnológica a médio e longo prazo sobre os processos de geração de hidrogênio, considerando cenários futuros probabilísticos que levem em conta o desenvolvimento das pilhas a combustível, 2009, 88 p, Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da Universidade de São Paulo.

PEREZ, V. L., SCHÜLER, R., The Delphi Method as a Tool for Information requirements Specification, In: Information & Management, n. 5, p. 157-167, 1982.

PERFIL 2008: Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO – ABIQUIM, , São Paulo, 2009, 20 p.

POLYAMIDES, PLASTICS, In: ENCYCLOPEDIA OF POLYMER SCIENCE AND TECHNOLOGY, v. 03, p. 618, 2010.

PORTER, A. L., et. al., Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods, 2003.

PROPYLENE POLYMERS, In: ENCYCLOPEDIA OF POLYMER SCIENCE AND TECHNOLOGY, v. 11, p. 287, 2010.

RAM, A., Fundamentals of Polymer Engineering, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel.

RETO, M. A. S., Polipropileno. Revista Plástico Moderno, São Paulo, n. 404, jun. 2008. Disponível em <http://www.plastico.com.br/revista/pm404/pp/pp01.html>. Acesso em 08 jul. 2010.

SABIC INNOVATIVE PLASTICS – Design Guide, release 05/1997.

SANTOS, M. M., COELHO, G. M., SANTOS, D. M., FILHO, L. F., Prospecção de tecnologias de futuro: métodos, técnicas e abordagens. In: Parcerias Estratégicas, n. 19, Dezembro/2004.

SHIN, T., Using Delphi for a Long-Range Technology Forecasting, And Assessing Directions of Future R & D Activities – The Korean Exercise, In: Technological Forecasting and Social Change, n. 58, p. 125 - 154, 1998.

SOLVAY ADVANCED POLYMERS – Amodel Design Guide, v. 3.0, 2002.

SOLVAY ADVANCED POLYMERS – Udel Design Guide, v. 2.1, 2002.

TUROFF, M., LINSTONE H. A., The Delphi Method – Techniques and Applications, 2002, Portland State University

WOUDENBERG, F., An Evaluation of Delphi. In: Technological Forecasting and Social Change, n. 40 p. 131 – 150, 1991.

WRIGHT, J. T. C., GIOVINAZZO, R. A., Delphi uma Ferramenta de Apoio ao Planejamento Prospectivo – In: Caderno de Pesquisas em Administração v. 01, p. 54-65, n. 12, São Paulo, 2000

DREJER, A., RIIS, J. O., Competence development and technology – How learning and technology can be meaningfully integrated. In: Technovation, n. 19, p. 631 – 644, 1991.