

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

TATIANA MAYUMI MOORI

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BLENDS DE
POLIPROPILENO E POLIETILENO MODIFICADAS POR RADIAÇÃO GAMA**

São Paulo

2014

TATIANA MAYUMI MOORI

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BLENDS DE
POLIPROPILENO E POLIETILENO MODIFICADAS POR RADIAÇÃO GAMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Materiais da Universidade Presbiteriana Mackenzie, como requisito à obtenção do título de Mestre Profissional em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Mauro César Terence

São Paulo

2014

M819d

Moori, Tatiana Mayumi

Desenvolvimento e caracterização de blendas de polipropileno e polietileno modificadas por radiação gama. / Tatiana Mayumi Moori – São Paulo, 2014.

153 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Programa de Pós-Graduação (Stricto Sensu) em Engenharia de Materiais) - Universidade Presbiteriana Mackenzie - São Paulo, 2014.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Cesar Terence

Bibliografia: f. 145-150

1. Blenda. 2. Polipropileno. 3. Polietileno. 4. Radiação gama. I.Título.

CDD 620.192

**Reitor da Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Benedito Guimarães Aguiar Neto**

**Decano de Pesquisa e Pós-Graduação
Prof. Dr. Moisés Ari Zilber**

**Coordenadora Geral de Pós-Graduação – Stricto Senso
Prof^a. Dr^a. Angélica Tanus Benatti Alvim**

**Diretora da Escola de Engenharia
Prof^a. Dr^a. Leila Figueiredo de Miranda**

**Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais
Prof. Dr. Juan Alfredo Guevara Carrió**

TATIANA MAYUMI MOORI

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BLENDS DE
POLIPROPILENO E POLIETILENO MODIFICADAS POR RADIAÇÃO GAMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Materiais da Universidade Presbiteriana Mackenzie, como requisito à obtenção do título de Mestre Profissional em Engenharia de Materiais.

Aprovado em 07 de fevereiro de 2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Mauro César Terence (Orientador)
Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Nilson Casimiro Pereira (Membro interno)
Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Valdir Canavel (Membro externo)
Faculdade Integradas de Guarulhos

Aos meus pais, dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Orientador Prof. Dr. Mauro César Terence pela orientação, motivação, estímulo, disponibilidade e apoio nas diversas fases percorridas para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Nilson Casimiro Pereira, pelos bons conselhos, estímulos e conhecimentos significativo para a execução deste trabalho.

Aos técnicos Luiz Henrique da Silveira, Abner Cabral Neto, Maria Lioba Luciancencov e também ao estagiário Emerson Candido de Oliveira, do laboratório de Materiais da Universidade Presbiteriana Mackenzie, pela presteza, suporte e disponibilidade para a confecção dos corpos de prova e realização dos ensaios.

Ao Centro de Tecnologia das Radiações (CTR), do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP), pela assistência e irradiação dos materiais.

Ao Instituto Presbiteriano Mackenzie pela Bolsa de Auxílio à Pesquisa, Mackpesquisa.

Ao Coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Prof. Dr. Juan Alfredo Guevara Carrió e ao Prof. Dr. Eunézio Antônio Thoroh de Souza, pelo apoio à obtenção da Bolsa Mackpesquisa.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Nilson Casimiro Pereira e Prof. Dr. Valdir Canavel, pelas importantes contribuições indicadas para o aprimoramento desta pesquisa.

Aos meus pais, Roberto e Teresa, pelo constante incentivo, confiança, colaboração, paciência, preocupação e apoio, tais quais, foram fundamentais nesta caminhada.

A todos aqueles que, direta e indiretamente, estiveram presentes, contribuindo para a realização deste trabalho.

“Que os vossos esforços desafiem as
impossibilidades, lembrai-vos de que
as grandes coisas do homem foram
conquistadas do que parecia impossível.”

(Charles Chaplin)

RESUMO

No setor polimérico as blendas passaram a ser uma interessante alternativa para o campo tecnológico, pois, agregaram propriedades de polímeros distintos em um menor prazo de desenvolvimento. O alto consumo e baixo custo das poliolefinas, PP e PE, foram responsáveis pelo crescente interesse em diversas pesquisas, almejando melhoria as limitações do PP. Além disso, novos interesses surgiram pelas necessidades futuras de eliminação da matéria, uma vez que estes dois componentes são os principais constituintes dos resíduos domésticos de plástico e de reciclagem. A imiscibilidade do PP e PE foi bastante discutida, pois, de acordo com o método de ensaio utilizado, o sistema pode ou não ser homogêneo. A radiação γ proporciona a formação de elementos intermediários muito reativos, do qual, aplicadas nas blendas influencia na compatibilidade dos componentes e beneficia algumas propriedades. Assim, o objetivo desse trabalho foi caracterizar as blendas de PP/PEBD e PP/PEAD com diferentes concentrações, investigando a melhor combinação dos polímeros antes e após a radiação γ . O material foi irradiado com doses de 30kGy; 50kGy; 100kGy e 200kGy, numa taxa fixa de 11,6 kGy/h e, posteriormente, realizou ensaios de resistência mecânica e termomecânica a fim de observar seus efeitos. Concluiu-se que as modificações ocorridas estavam, diretamente relacionadas aos fatores: dose e concentração. Para cada tipo de combinação observou-se um resultado específico. A radiação ionizante alterou a compatibilidade dos componentes, favorecendo algumas propriedades das blendas, revelando materiais resistentes e de baixo custo.

Palavras-chaves: blenda; polipropileno; polietileno; radiação gama.

ABSTRACT

In the polymer industry the blends have become an interesting alternative to the technological field, therefore, added different properties in a shorter period of polymers developing. The high consumption and low cost of polyolefins, PP and PE, were responsible for the growing interest in many researches, aimed to improve the limitations of the PP. In addition, new needs for future interests emerged elimination of matter, since these two components are the main constituents of domestic waste and plastics recycling. The immiscibility of PP and PE has been discussed, according to the method used, the system may or may not be homogeneous. The γ radiation results in the formation of very reactive intermediate elements, which, applied to the blend compatibility component influences some properties and benefits. The objective of this study was characterize the blends of PP/LDPE and PP/HDPE with different concentrations, investigating the best combination of polymers before and after γ radiation. The material was irradiated with doses of 30kGy, 50kGy, 100kGy and 200kGy, at a fixed rate of 11.6 kGy/h and subsequently performed the tests of mechanical and thermomechanical resistance in order to observe its effects. It concluded that the changes were directly related to the factors: dose and concentration. For each type of combined, there was a specific result. The ionizing radiation change the compatibility of the components, promoting some properties of the blends, showing strong and economical materials.

Key words: blend; polypropylene; polyethylene; gamma radiation

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Variação da concentração das blendas PP/PEBD, % em massa.....	52
Tabela 2 -	Variação da concentração das blendas PP/PEAD, % em massa.....	52
Tabela 3 -	Quantidade estimada de corpos de prova de polímeros puros e blendas utilizados.....	53
Tabela 4 -	Concentrações de PP e PE utilizadas, % em massa.....	57
Tabela 5 -	Concentrações de PP e PEAD utilizadas, % em massa.....	57
Tabela 6 -	Disposição de dados para o experimento com 2 fatores e <i>n</i> réplicas.....	58
Tabela 7 -	Estrutura para a análise Fatorial 2 ²	59
Tabela 8 -	Disposição de dados para o experimento com um único fator e <i>n</i> réplicas.....	59
Tabela 9 -	Polímeros Puros PP, PEBD e PEAD: Valores médios da tensão máxima e dos respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiadas e irradiadas.....	62
Tabela 10 -	ANOVA Fator único para PP puro: Ensaio de tração.....	62
Tabela 11 -	ANOVA Fator único para PEBD puro: Ensaio de tração.....	62
Tabela 12 -	ANOVA Fator único para PEAD puro: Ensaio de tração.....	62
Tabela 13 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PP puro: Ensaio de tração.....	63
Tabela 14 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEBD puro: Ensaio de tração.....	64
Tabela 15 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEAD puro: Ensaio de tração.....	64
Tabela 16 -	Blenda PP/PEBD: Valor médio da tensão máxima e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.....	66
Tabela 17 -	ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEBD. Tensão Máxima versus ConcPEBD; Dose.....	66
Tabela 18 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEBD (% em massa). Ensaio de tração.....	68
Tabela 19 -	Análise Fatorial 2 ² para as blendas PP/PEBD: Ensaio de tração.....	69
Tabela 20 -	ANOVA: Fatorial 2 ² para a blenda PP/PEBD: Ensaio de tração.....	70

Tabela 21 -	Blenda PP/PEAD: Valor médio da tensão máxima e dos respectivos desvios padrão para a blenda polimérica não-irradiada e irradiada a diferentes doses.....	71
Tabela 22 -	ANOVA com 2 Fatores para blendas PP/PEAD. Tensão Máxima versus ConcPEAD; Dose.....	72
Tabela 23 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEBD (% em massa): Ensaio de tração.....	73
Tabela 24 -	Análise Fatorial 2 ² para blendas PP/PEAD: Ensaio de tração.....	74
Tabela 25 -	ANOVA: Fatorial 2 ² para a blenda PP/PEAD: Ensaio de tração.....	75
Tabela 26 -	Polímeros Puros PP, PEBD e PEAD: Valores médios da resistência de curvatura e dos respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiadas e irradiadas.....	76
Tabela 27 -	ANOVA Fator único para PP puro: Ensaio de flexão.....	77
Tabela 28 -	ANOVA Fator único para PEBD puro: Ensaio de flexão.....	77
Tabela 29 -	ANOVA Fator único para PEAD puro: Ensaio de flexão.....	77
Tabela 30 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PP puro: Ensaio de flexão.....	78
Tabela 31 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEBD puro: Ensaio de flexão.....	78
Tabela 32 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEAD puro: Ensaio de flexão.....	78
Tabela 33 -	Blenda PP/PEBD: Valor médio da resistência de curvatura e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.....	80
Tabela 34 -	ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEBD. Resistência de Curvatura versus ConcPEBD; Dose.....	80
Tabela 35 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEBD (% em massa): Ensaio de flexão.....	81
Tabela 36 -	Análise Fatorial 2 ² para as blendas PP/PEBD: Ensaio de flexão.....	83
Tabela 37 -	ANOVA: Fatorial 2 ² para a blenda PP/PEBD – Ensaio de flexão.....	84
Tabela 38 -	Blenda PP/PEAD: Valor médio da resistência de curvatura e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.....	85

Tabela 39 -	ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEAD. Resistência de Curvatura versus ConcPEAD; Dose.....	86
Tabela 40 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEAD (% em massa): Ensaio de flexão.....	87
Tabela 41 -	Análise Fatorial 2 ² para as blendas PP/PEAD: Ensaio de flexão.....	88
Tabela 42 -	ANOVA: Fatorial 2 ² para a blenda PP/PEAD – Ensaio de flexão.....	89
Tabela 43 -	Polímeros Puros PP, PEBD e PEAD: Valores médios da energia em função da área e dos respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiadas e irradiadas.....	91
Tabela 44 -	ANOVA Fator único para PP puro: Ensaio de impacto.....	91
Tabela 45 -	ANOVA Fator único para PEBD puro: Ensaio de impacto.....	91
Tabela 46 -	ANOVA Fator único para PEAD puro: Ensaio de impacto.....	91
Tabela 47 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PP puro: Ensaio de impacto.....	92
Tabela 48 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEBD puro: Ensaio de impacto.....	92
Tabela 49 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEAD puro: Ensaio de impacto.....	93
Tabela 50 -	Blenda PP/PEBD: Valor médio da energia em função da área e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.....	94
Tabela 51 -	ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEBD. Energia f(área) versus ConcPEBD; Dose.....	94
Tabela 52 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEBD (% em massa): Ensaio de impacto.....	95
Tabela 53 -	Análise Fatorial 2 ² para as blendas PP/PEBD: Ensaio de impacto.....	96
Tabela 54 -	ANOVA: Fatorial 2 ² para a blenda PP/PEBD – Ensaio de impacto.....	97
Tabela 55 -	Blenda PP/PEAD: Valor médio da energia de impacto em função da área e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.....	99
Tabela 56 -	ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEAD. Energia f(área) versus ConcPEAD; Dose.....	99

Tabela 57 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEAD (% em massa): Ensaio de impacto.....	100
Tabela 58 -	Análise Fatorial 2 ² para as blendas PP/PEAD: Ensaio de impacto.....	101
Tabela 59 -	ANOVA: Fatorial 2 ² para a blenda PP/PEAD – Ensaio de impacto.....	102
Tabela 60 -	Polímeros Puros de PP, PEBD e PEAD: Valores médios da dureza e dos respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiadas e irradiadas.....	104
Tabela 61 -	ANOVA Fator único para PP puro: Ensaio de dureza.....	104
Tabela 62 -	ANOVA Fator único para PEBD puro: Ensaio de dureza.....	104
Tabela 63 -	ANOVA Fator único para PEAD puro: Ensaio de dureza.....	104
Tabela 64 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PP puro: Ensaio de dureza.....	105
Tabela 65 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEBD puro: Ensaio de dureza.....	105
Tabela 66 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEAD puro: Ensaio de dureza.....	105
Tabela 67 -	Blenda PP/PEBD: Valor médio da dureza e o respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.....	107
Tabela 68 -	ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEBD. Dureza versus ConcPEBD; Dose.....	107
Tabela 69 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEBD (% em massa): Ensaio de dureza.....	108
Tabela 70 -	Análise Fatorial 2 ² para as blendas PP/PEBD: Ensaio de dureza.....	109
Tabela 71 -	ANOVA: Fatorial 2 ² para a dureza das blendas PP/PEBD: Ensaio de dureza.....	110
Tabela 72 -	Blenda PP/PEAD: Valor médio da dureza e o respectivo desvio padrão para a blenda polimérica não-irradiada e irradiada a diferentes doses.....	112
Tabela 73 -	ANOVA com 2 Fatores para blendas PP/PEAD. Dureza versus ConcPEAD; Dose.....	112
Tabela 74 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEAD (% em massa): Ensaio de dureza.....	113

Tabela 75 -	Análise Fatorial 2 ² para blendas PP/PEAD: Ensaio de dureza.....	114
Tabela 76 -	ANOVA: Fatorial 2 ² para a blenda PP/PEAD: Ensaio de dureza.....	115
Tabela 77 -	Polímeros Puros de PP, PEBD e PEAD: Valores médios da temperatura de amolecimento e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiadas e irradiadas.....	117
Tabela 78 -	ANOVA Fator único para PP puro: Ensaio Vicat.....	117
Tabela 79 -	ANOVA Fator único para PEBD puro: Ensaio Vicat.....	118
Tabela 80 -	ANOVA Fator único para PEAD puro: Ensaio Vicat.....	118
Tabela 81 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PP puro: Ensaio Vicat.....	118
Tabela 82 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEBD puro: Ensaio Vicat.....	119
Tabela 83 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEAD puro: Ensaio Vicat.....	119
Tabela 84 -	Blenda PP/PEBD: Valor médio da temperatura de amolecimento e o respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.....	120
Tabela 85 -	ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEBD. Vicat versus ConcPEBD; Dose.....	121
Tabela 86 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEBD (% em massa): Ensaio Vicat.....	122
Tabela 87 -	Análise Fatorial 2 ² para as blendas PP/PEBD: Ensaio Vicat.....	123
Tabela 88 -	ANOVA: Fatorial 2 ² para a temperatura de amolecimento das blendas PP/PEBD: Ensaio Vicat.....	124
Tabela 89 -	Blenda PP/PEAD: Valor médio da temperatura de amolecimento e o respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.....	125
Tabela 90 -	ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEAD. Vicat versus ConcPEAD; Dose.....	126
Tabela 91 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEAD (% em massa): Ensaio Vicat.....	127
Tabela 92 -	Experimento Fatorial 2 ² para as blendas PP/PEAD: Ensaio Vicat.....	128

Tabela 93 -	ANOVA: Fatorial 2 ² para a temperatura de amolecimento das blendas PP/PEAD: Ensaio Vicat.....	129
Tabela 94 -	Polímeros Puros de PP, PEBD e PEAD: Valores médios da temperatura de deflexão e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiadas e irradiadas.....	130
Tabela 95 -	ANOVA Fator único para PP puro: Ensaio HDT.....	131
Tabela 96 -	ANOVA Fator único para PEBD puro: Ensaio HDT.....	131
Tabela 97 -	ANOVA Fator único para PEAD puro: Ensaio HDT.....	131
Tabela 98 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PP puro: Ensaio HDT.....	131
Tabela 99 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEBD puro: Ensaio HDT.....	132
Tabela 100 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEAD puro: Ensaio HDT.....	132
Tabela 101 -	Blenda PP/PEBD: Valor médio da temperatura de deflexão e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.....	133
Tabela 102 -	ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEBD. HDT versus ConcPEBD; Dose.....	134
Tabela 103 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEBD (% em massa): Ensaio HDT.....	135
Tabela 104 -	Análise Fatorial 2 ² para as blendas PP/PEBD: Ensaio HDT.....	136
Tabela 105 -	ANOVA: Fatorial 2 ² para a dureza das blendas PP/PEBD: Ensaio HDT.....	137
Tabela 106 -	Blenda PP/PEAD: Valor médio da temperatura de deflexão e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.....	138
Tabela 107 -	ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEAD. HDT versus ConcPEAD; Dose.....	139
Tabela 108 -	Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEAD (% em massa): Ensaio HDT.....	140
Tabela 109 -	Análise Fatorial 2 ² para as blendas PP/PEAD: Ensaio HDT.....	141

Tabela 110 - ANOVA: Fatorial 2^2 para a temperatura de deflexão das blendas PP/PEAD: Ensaio HDT.....	142
---	-----

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 -	Reação de polimerização do polipropileno.....	30
Ilustração 2 -	Adição de monômero na cadeia do polipropileno.....	31
Ilustração 3 -	Adição de monômero à cadeia do polipropileno em crescimento.....	31
Ilustração 4 -	Representação espacial da adição do monômero na cadeia polimérica...	31
Ilustração 5 -	Formas isômeras do polipropileno.....	32
Ilustração 6 -	Reação de polimerização do polietileno.....	33
Ilustração 7a -	Representação de uma molécula de PE linear ou PEAD.....	33
Ilustração 7b -	Representação de uma molécula de PE ramificado ou PEBD.....	33
Ilustração 8 -	Representação do comportamento das blendas.....	36
Ilustração 9 -	Esquema da energia emitida pelos núcleos dos elementos radioativos.	39
Ilustração 10 -	Esquema comparativo do poder de penetração das radiações α , β e γ ...	40
Ilustração 11 -	Modelo de irradiador com fonte de Cobalto 60.....	41
Ilustração 12 -	Mecanismo de reticulação da cadeia polimérica.....	43
Ilustração 13 -	Mecanismo de cisão da cadeia polimérica.....	43
Ilustração 14 -	Interação de ondas eletromagnéticas com a matéria.....	45
Ilustração 15 -	Modelo de um processo ou sistema para o delineamento de experimentos.....	47
Ilustração 16 -	Representação simplificada do método de análise dos dados.....	56
Ilustração 17 -	Fluxograma dos testes estatísticos aplicados.....	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1a -	Perfil do consumo aparente de resinas termoplásticas.....	27
Gráfico 1b -	Principais resinas termoplásticas consumidas no Brasil em 2012.....	27
Gráfico 2 -	Variação da tensão máxima dos polímeros puros PP, PEBD e PEAD...	65
Gráfico 3a -	Efeitos dos fatores principais na tensão máxima das blendas PP/PEBD.....	67
Gráfico 3b -	Efeitos da interação dos fatores na tensão máxima das blendas PP/PEBD.....	67
Gráfico 4a -	Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEBD e Dose) na tensão máxima de ruptura para as blendas PP/PEBD.....	69
Gráfico 4b -	Representação da interação dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a tensão máxima de ruptura das blendas PP/PEBD.....	69
Gráfico 5 -	Contorno da tensão máxima de ruptura versus Dose e ConcPEBD.....	70
Gráfico 6a -	Efeitos dos fatores principais na tensão máxima das blendas PP/PEAD.....	72
Gráfico 6b -	Efeitos de interação dos fatores na tensão máxima das blendas PP/PEAD.....	72
Gráfico 7a -	Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEAD e Dose) na tensão máxima de ruptura para as blendas PP/PEAD.....	74
Gráfico 7b -	Representação da interação dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a tensão máxima de ruptura das blendas PP/PEAD.....	74
Gráfico 8 -	Contorno da tensão máxima de ruptura versus Dose e ConcPEAD.....	75
Gráfico 9 -	Variação da resistência de curvatura dos polímeros puros PP, PEBD e PEAD.....	79
Gráfico 10a -	Efeitos dos fatores principais na resistência de curvatura das blendas PP/PEBD.....	81
Gráfico 10b -	Efeitos da interação dos fatores na resistência de curvatura das blendas PP/PEBD.....	81
Gráfico 11a -	Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEBD e Dose) na resistência de curvatura para as blendas PP/PEBD.....	83
Gráfico 11b -	Representação da interação dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a resistência de curvatura das blendas PP/PEBD.....	83
Gráfico 12 -	Contorno da resistência de curvatura versus Dose e ConcPEBD.....	84

Gráfico 13a - Efeitos dos fatores principais na resistência de curvatura das blendas PP/PEAD.....	86
Gráfico 13b - Efeitos da interação dos fatores na resistência de curvatura das blendas PP/PEAD.....	86
Gráfico 14a - Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEAD e Dose) na resistência de curvatura para as blendas PP/PEAD.....	89
Gráfico 14b - Representação da interação dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a resistência de curvatura das blendas PP/PEAD.....	89
Gráfico 15 - Contorno da resistência de curvatura versus Dose e ConcPEAD.....	90
Gráfico 16 - Variação das energias dos polímeros puros PP, PEBD e PEAD.....	93
Gráfico 17a - Efeitos dos fatores principais na energia de impacto das blendas PP/PEBD.....	95
Gráfico 17b - Efeitos da interação dos fatores na energia de impacto das blendas PP/PEBD.....	95
Gráfico 18a - Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEBD e Dose) na energia de impacto em função da área para as blendas PP/PEBD.....	97
Gráfico 18b - Representação da interação dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a energia de impacto em função da área das blendas PP/PEBD.....	97
Gráfico 19 - Contorno da energia de impacto versus Dose e ConcPEBD.....	98
Gráfico 20a - Efeitos dos fatores principais na energia de impacto das blendas PP/PEAD.....	100
Gráfico 20b - Efeitos da interação dos fatores na energia de impacto das blendas PP/PEAD.....	100
Gráfico 21a - Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEAD e Dose) na energia de impacto em função da área para as blendas PP/PEAD.....	102
Gráfico 21b - Representação da interação dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a energia de impacto em função da área das blendas PP/PEAD.....	102
Gráfico 22 - Contorno da energia de impacto versus Dose e ConcPEAD.....	103
Gráfico 23 - Variação da dureza dos polímeros puros PP, PEBD e PEAD.....	106
Gráfico 24a - Efeitos dos fatores principais na dureza das blendas PP/PEBD.....	108
Gráfico 24b - Efeito da interação dos fatores na dureza das blendas PP/PEBD.....	108
Gráfico 25a - Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a dureza das blendas PP/PEBD.....	110

Gráfico 25b -	Representação da interação dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a dureza das blendas PP/PEBD.....	110
Gráfico 26 -	Contorno da dureza versus Dose e ConcPEBD.....	111
Gráfico 27a -	Efeitos dos fatores principais na dureza das blendas PP/PEAD.....	113
Gráfico 27b -	Efeito da interação dos fatores na dureza das blendas PP/PEAD.....	113
Gráfico 28a -	Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a dureza das blendas PP/PEAD.....	115
Gráfico 28b -	Representação da interação dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a dureza das blendas PP/PEAD.....	115
Gráfico 29 -	Contorno da dureza versus Dose e ConcPEAD.....	116
Gráfico 30 -	Variação da temperatura de amolecimento dos polímeros puros PP, PEBD e PEAD.....	119
Gráfico 31a -	Efeitos dos fatores principais na temperatura de amolecimento das blendas PP/PEBD.....	121
Gráfico 31b -	Efeito da interação dos fatores na temperatura de amolecimento das blendas PP/PEBD.....	121
Gráfico 32a -	Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a temperatura de amolecimento das blendas PP/PEBD.....	123
Gráfico 32b -	Representação da interação dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a temperatura de amolecimento das blendas PP/PEBD.....	123
Gráfico 33 -	Contorno VICAT vs Dose e ConcPEBD.....	124
Gráfico 34a -	Efeitos dos fatores principais na temperatura de amolecimento das blendas PP/PEAD.....	126
Gráfico 34b -	Efeito da interação dos fatores na temperatura de amolecimento das blendas PP/PEAD.....	126
Gráfico 35a -	Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a temperatura de amolecimento das blendas PP/PEAD.....	128
Gráfico 35b -	Representação da interação dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a temperatura de amolecimento das blendas PP/PEAD.....	128
Gráfico 36 -	Contorno VICAT vs Dose e ConcPEAD.....	129
Gráfico 37 -	Variação da temperatura de deflexão dos polímeros puros PP, PEBD e PEAD.....	132

Gráfico 38a - Efeitos dos fatores principais na temperatura de deflexão das blendas PP/PEBD.....	134
Gráfico 38b - Efeito da interação dos fatores na temperatura de deflexão das blendas PP/PEBD.....	134
Gráfico 39a - Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a temperatura de deflexão das blendas PP/PEBD.....	136
Gráfico 39b - Representação da interação dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a temperatura de deflexão das blendas PP/PEBD.....	136
Gráfico 40 - Contorno HDT vs Dose e ConcPEBD.....	137
Gráfico 41a - Efeitos dos fatores principais na temperatura de deflexão das blendas PP/PEAD.....	139
Gráfico 41b - Efeito da interação dos fatores na temperatura de deflexão das blendas PP/PEAD.....	139
Gráfico 42a - Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a temperatura de deflexão das blendas PP/PEAD.....	141
Gráfico 42b - Representação da interação dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a temperatura de deflexão das blendas PP/PEAD.....	141
Gráfico 43 - Contorno HDT vs Dose e ConcPEAD.....	142

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPLAST	Associação brasileira da indústria do plástico
Al	Alumínio
atm	Atmosferas
Bq	Becquerel
cat.	Catalisador
cm ³	Centímetros cúbicos
ConcPEAD	Concentração de PEAD
ConcPEBD	Concentração de PEBD
ConcPP	Concentração de PP
CV	Coefficiente de variação
dms _p	Diferença mínima significativa de Duncan
DP	Desvio padrão
DSC	Calorimetria diferencial de varredura
E _e	Energia do elétron expelido
F _c	“F” crítico
F _{Calc}	“F” calculado
g	Gramas
Gy	Gray
H ₀	Hipótese nula
H ₁	Hipótese 1
HDPE	<i>High-density polyethylene</i>
hν	Energia do fóton
iPP	Polipropileno isotático
k	Número de fatores
kg	Quilograma
kGy	Quilogray
kJ	Quilojoule
kW	Quilowatts
LDPE	<i>Low-density polyethylene</i>
m	Metro
m ²	Metroquadrado
MET	Microscopia eletrônica de transmissão

MeV	Megaelétron-volt
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
n	Número de réplicas
nm	Nanômetro
p	Probabilidade de significância
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PEBDL	Polietileno linear de baixa densidade
PELBD	Polietileno linear de baixa densidade
PEUAPM	Polietileno de ultra alto peso molecular
PEUBD	Polietileno de ultra baixa densidade
PP	Polipropileno
Q	Energia de ligação do elétron ao seu orbital
S_E^2	Variância entre os tratamentos
ShD	Shore D
S_R^2	Variância “dentro” dos tratamentos ou residual
$TiCl_4$	Cloreto de titânio
T_m	Temperatura de fusão
Z	Número atômico
ε	Energia cinética
σ_E^2	Variância populacional entre os tratamentos
σ_R^2	Variância populacional “dentro” dos tratamentos ou residual
%	Porcentagem
$^{\circ}C$	Grau Celsius
μm	Micrómetro
^{60}Co	Cobalto-60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	27
1.1	OBJETIVO GERAL.....	29
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	30
2.1	POLIPROPILENO.....	30
2.2	POLIETILENO.....	32
2.2.1	Polietileno de baixa densidade.....	34
2.2.2	Polietileno de alta densidade.....	34
2.3	BLENDAS POLIMÉRICAS.....	35
2.3.1	Blendas de polipropileno e polietileno.....	36
2.4	RADIAÇÃO.....	38
2.4.1	Radiação não ionizante.....	38
2.4.2	Radiação ionizante.....	39
2.4.2	Radiação gama (γ).....	40
2.4.3	Irradiação de polímeros.....	42
2.4.4	Efeitos induzidos pela radiação ionizante nas propriedades dos polímeros.....	42
2.4.5	Interação da radiação γ nas propriedades dos polímeros.....	44
2.5	MÉTODOS EXPERIMENTAIS PARA ANALISAR MATERIAIS POLIMÉRICOS.....	45
2.5.1	Ensaio mecânicos.....	46
2.5.2	Ensaio termomecânicos.....	46
2.6	DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS.....	47
2.6.1	Análise de variância - ANOVA.....	48
2.6.2	Método de Duncan.....	49
2.6.3	Probabilidade de significância (P-Valor).....	50
2.6.4	Planejamento fatorial 2^k.....	51
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
3.1	MATERIAIS UTILIZADOS.....	52
3.2	DESENVOLVIMENTO DAS BLENDS.....	52
3.3	EQUIPAMENTOS.....	53

3.4	IRRADIAÇÃO DAS BLENIDAS.....	54
3.5	ENSAIOS LABORATORIAIS.....	54
3.5.1	Ensaio mecânicos.....	54
3.5.1.1	Resistência à tração.....	54
3.5.1.2	Resistência à flexão.....	54
3.5.1.3	Resistência ao impacto Izod.....	55
3.5.1.4	Dureza Shore D.....	55
3.5.2	Ensaio termomecânicos.....	55
3.5.2.1	Temperatura de amolecimento (Vicat).....	55
3.5.2.2	Temperatura de deflexão sob carga (HDT).....	55
3.6	METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	61
4.1	PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	61
4.1.1	Resistência à tração.....	61
4.1.1.1	Ensaio de resistência à tração em polímeros puros.....	61
4.1.1.2	Ensaio de resistência à tração em blendas PP/PEBD.....	65
4.1.1.3	Ensaio de resistência à tração em blendas PP/PEAD.....	71
4.1.2	Resistência à flexão.....	76
4.1.2.1	Ensaio de resistência à flexão em polímeros puros.....	76
4.1.2.2	Ensaio de resistência à flexão em blendas PP/PEBD.....	79
4.1.2.3	Ensaio de resistência à flexão em blendas PP/PEAD.....	85
4.1.3	Resistência ao impacto Izod.....	90
4.1.3.1	Ensaio de resistência ao impacto em polímeros puros.....	90
4.1.3.2	Ensaio de resistência ao impacto em blendas PP/PEBD.....	93
4.1.3.3	Ensaio de resistência ao impacto em blendas PP/PEAD.....	98
4.1.4	Resistência à dureza Shore D.....	103
4.1.4.1	Ensaio de resistência à dureza em polímeros puros.....	103
4.1.4.2	Ensaio de resistência à dureza em blendas PP/PEBD.....	106
4.1.4.3	Ensaio de resistência à dureza em blendas PP/PEAD.....	111
4.2	PROPRIEDADES TERMOMECÂNICA.....	116
4.2.1	Determinação da temperatura de amolecimento (Vicat).....	116
4.2.1.1	VICAT de polímeros puros.....	117
4.2.1.2	VICAT de blendas PP/PEBD.....	120

4.2.1.3	VICAT de blendas PP/PEAD.....	125
4.2.2	Determinação da temperatura de deflexão sob carga (HDT).....	130
4.2.2.1	HDT de polímeros puros.....	130
4.2.2.2	HDT de blendas PP/PEBD.....	133
4.2.2.3	HDT de blendas PP/PEAD.....	138
5	CONCLUSÃO.....	143
	REFERÊNCIAS.....	145
	ANEXO I.....	151
	ANEXO II.....	152
	ANEXO III.....	153

1 INTRODUÇÃO

A diversidade de segmentos onde o plástico está presente aponta uma tendência de crescimento devido ao seu baixo custo de produção e sua grande versatilidade (RABELO, 2007; PLASTIVIDA, 2011).

Segundo a ABIPLAST (2012), o Brasil, em 2012, teve um consumo aparente de resinas termoplásticas de aproximadamente 6,7 milhões de toneladas, sendo 27,0% em polipropileno (PP), 13,0% em polietileno de baixa densidade (PEBD ou LDPE) e 16,0% em polietileno de alta densidade (PEAD ou HDPE). O faturamento de resina no mercado brasileiro neste mesmo ano foi de R\$ 56,5 bilhões, com a participação de 26,5% em PP e 51,4% em PEs (ADIRPLAST, 2012).

Os gráficos 1a e 1b mostram o cenário do consumo das resinas termoplásticas, no Brasil, em 2012.

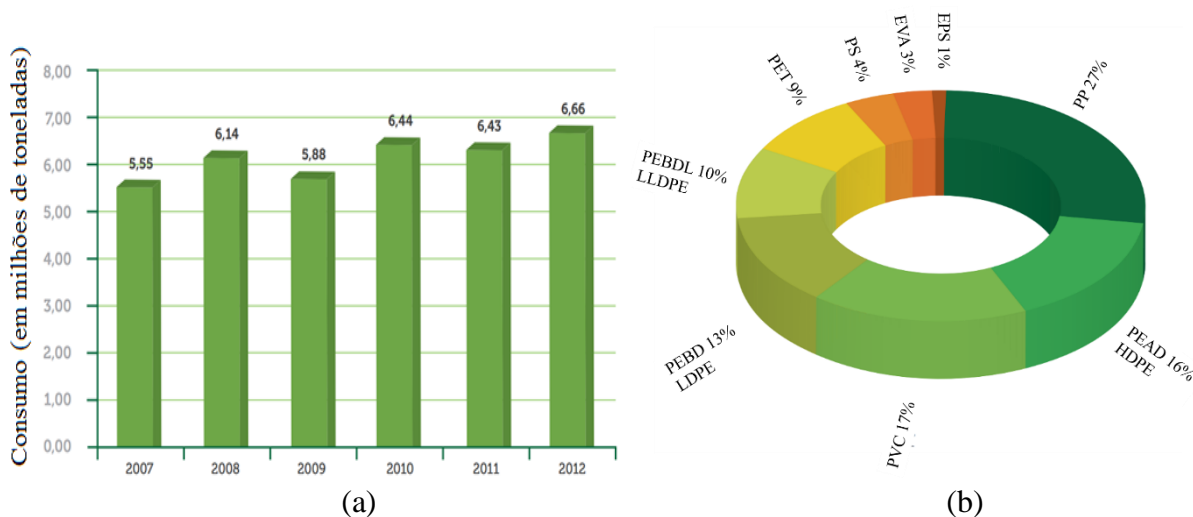


Gráfico 1 – (a) Perfil do consumo aparente de resinas termoplásticas por período. (b) Principais resinas termoplásticas consumidas no Brasil (2012).

Fonte: Dados estatísticos: PERFIL 2012 (ABIPLAST, 2013).

O PP é a principal resina consumida no país, representando mais de $\frac{1}{4}$ do consumo nacional. Seu alto desempenho nas propriedades mecânicas são amplas devido à sua cristalinidade, alta tenacidade, resistência a altas temperaturas, entre outras. No entanto, em baixas temperaturas, suas propriedades assumem um comportamento intrinsecamente quebradiço, e por isso, apresentam baixa resistência ao impacto. Na tentativa de sanar suas limitações, diversos estudos foram realizados a partir da mistura deste polímero com outros (PIGATTO, 2009; RUIZ; TERENCE, 2008).

A existência de um vasto acervo de livros e trabalhos que tratam do desenvolvimento das blendas PP/PE está justamente relacionada ao fato desses polímeros estarem na faixa dos mais produzidos e consumidos mundialmente (ZHOU; HAY, 1993). A reciclagem é outro ponto importante para a produção de suas blendas, pois, o excesso desses materiais traz a necessidade futura de sua eliminação (WIEBECK; HARADA, 2005; JOSE et al., 2004).

As blendas de PP e PE são geralmente consideradas imiscíveis no estado líquido. A imiscibilidade termodinâmica entre esses polímeros, sugere a adição de um agente compatibilizante, a fim de melhorar a adesão entre eles e as propriedades finais (UTRACKI, 2002). No entanto, Li; Shanks; Olley; Greenway (2001), tratam a mistura do PP e PE como parcialmente miscível, alegando que, de acordo com o método de ensaio utilizado, o sistema pode ou não ser homogêneo.

As técnicas nucleares são empregadas para melhorar a qualidade dos processos nos mais variados setores industriais, 31% das licenças são destinadas a esse setor para a utilização de fontes radioativas (ROSSINI, 2005). A irradiação de materiais poliméricos com radiação de alta energia (raios gama, raios-X, feixe de íons e feixe de elétron) proporciona a formação de elementos intermediários muito reativos, do qual aplicadas nesses materiais podem melhorar suas propriedades e características (RUIZ; TERENCE, 2008). Baseado nas melhorias que a radiação ionizante promove nas propriedades de cada um dos materiais puros isoladamente, utilizou a radiação ionizante para irradiar as blendas de PP/PE e estudar as modificações induzidas por ela nas propriedades das blendas.

Os principais efeitos provocados pela radiação ionizante são: a reticulação e a cisão de cadeia. Esses fenômenos são responsáveis pelas alterações nas propriedades físicas, químicas e mecânicas dos polímeros, e podem ser conduzidos para as características desejadas. A utilização da radiação ionizante no processamento de polímeros tem aumentado consideravelmente nos últimos anos devido às vantagens ambientais que esta técnica proporciona como a redução da quantidade de aditivos químicos utilizados, diminuição dos resíduos voláteis gerados e da energia consumida (PINO; GINOVEDI, 2006).

O processo de radiação é uma sugestão ambiental e energética segura para modificar as estruturas moleculares dos polímeros (SPADARO; VALENZA, 2000). Dentre as principais radiações ionizantes, a radiação gama é a mais conhecida devido a sua alta capacidade de penetração. Com ela é possível destruir tumores cancerosos, radiografar enormes lingotes de metal com espessura de até 250mm, encontrar defeitos ocultos em peças acabadas,

conservar e esterilizar produtos alimentícios e medicamentos e realizar investigações científicas em muitos outros domínios da ciência moderna (WAS, 2007). Uma dose de esterilização de 25kGy, mínima exigida por autoridades oficiais, pode causar danos drásticos nos polímeros (HASSAN; EL-KELESH; DESSOUKI, 2008). Entretanto, estudos indicam que a dose necessária de radiação para provocar alguma mudança significativa nas propriedades do material polimérico é relativamente menor se comparada com a aplicação em qualquer outro material (RUIZ; TERENCE, 2008).

Nesse sentido, torna-se oportuno o desenvolvimento de estudos que promovam avanços acadêmicos e científicos que resultem no desenvolvimento de novas blendas poliméricas e/ou melhorias em suas propriedades.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as propriedades mecânicas e termomecânicas das blendas de PP e PE modificadas por radiação gama.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudar as propriedades mecânicas e termomecânicas das blendas PP/PEBD e PP/PEAD com diferentes concentrações de PP e PE.

Identificar as modificações induzidas pela radiação gama.

Comparar as propriedades das blendas ressaltando o melhor produto.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo aborda de forma sucinta alguns conceitos teóricos já fundamentados, essenciais para o entendimento e compreensão do assunto tratado neste trabalho e, também, como ponto de apoio para discussões posteriores.

2.1 POLIPROPILENO

Da família das poliolefinas o polipropileno (PP) é amplamente explorado por suas excelentes propriedades térmicas e mecânicas (ROSÁRIO, 2011). Presente em diversos segmentos, tais quais, de embalagens, têxtil, construção civil, elétrica, eletrônica e automotiva. Foi polimerizado pela primeira vez em 1954, por Natta, mas somente em 1957, com o desenvolvimento dos catalisadores de Ziegler-Natta, tornou-se comercialmente uma das mais importantes resinas termoplásticas com aplicações industriais (MOORE, 1996).

A produção da resina de PP está representada na Ilustração 1. A reação de polimerização é do tipo adição, por mecanismo de radicais livres, catiônicos ou aniônicos dependendo de como são iniciados.

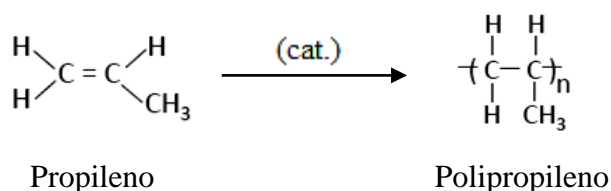


Ilustração 1 – Reação de polimerização do polipropileno.

A estrutura do PP consiste simplesmente em cadeias de hidrocarbonetos saturados. A cada dois átomos de carbono da cadeia principal encontra-se ramificado um grupo metila (CH₃). A estereoregularidade está relacionada à forma com a qual os grupos funcionais (CH₃) estão distribuídos na molécula e o arranjo espacial desse polímero é controlado por três fatores (MOORE, 1996; RUIZ, 2009):

- a) **Forma da cadeia molecular:** adição do monômero pode ocorrer de duas maneiras: no final da cadeia ou pela lateral de forma a criar uma ramificação, conforme mostrado na Ilustração 2.



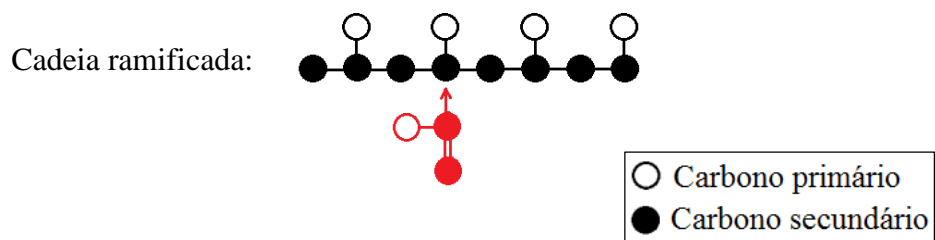


Ilustração 2 – Adição de monômero na cadeia do polipropileno.

- b) Sequência do radical metila:** a unidade do monômero obedece a uma forma específica ao ser inserida na cadeia em crescimento, chamado de regioespecificidade, a inserção pode ser do tipo: cabeça-cauda ou cauda-cabeça ou cabeça-cabeça, conforme mostrado na Ilustração 3.

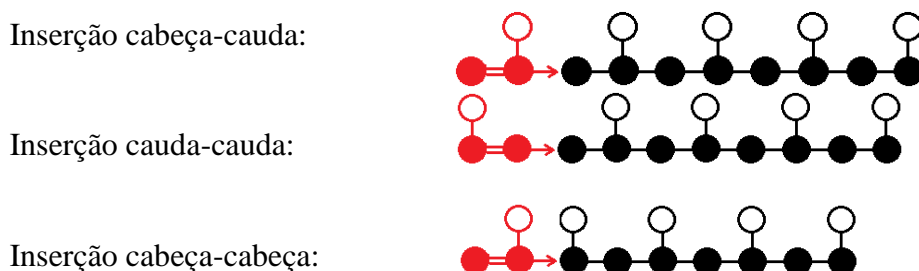


Ilustração 3 – Adição do monômero à cadeia do polipropileno em crescimento.

- c) Orientação do monômero na inserção:** existem duas possibilidades para a inserção do monômero: chamado de estereoespecificidade, a unidade monomérica inserida pode estar disposta do mesmo lado espacial que o monômero inserido anteriormente ou estar disposta do modo invertido, como mostrado na Ilustração 4, ambas na condição cabeça-cauda.

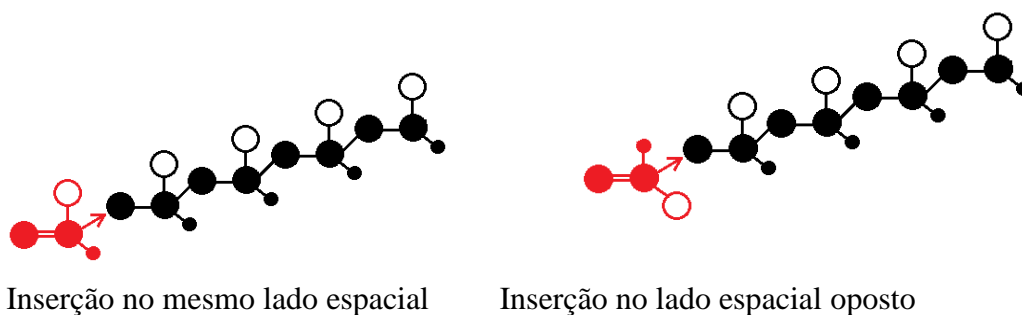


Ilustração 4 – Representação espacial da adição do monômero na cadeia polimérica.

A partir desses fatores pode-se gerar três formas isômeras de PP: isotático, sindiotático e atático, conforme a localização dos grupos metila pendentes na cadeia principal do polímero como mostrado na Ilustração 5 (MAIER; CALAFUT, 1998).

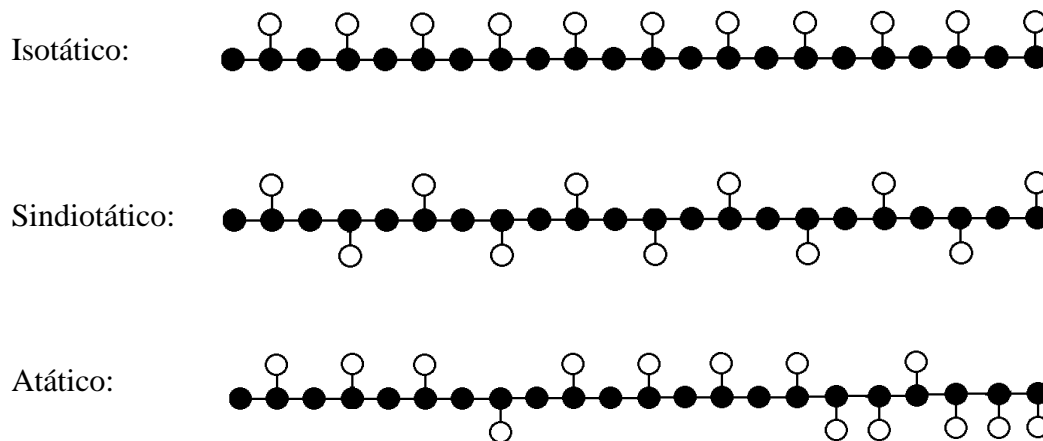


Ilustração 5 – Formas isômeras do polipropileno.

O polipropileno isotático (iPP ou simplesmente PP) é a forma mais comumente encontrada comercialmente, as ramificações se dispõem do mesmo lado do plano definido pelos átomos da cadeia principal, sempre no mesmo sentido e orientação. Devido sua regularidade, esta estrutura possui um alto grau de cristalinidade resultando, por exemplo, boas propriedades de rigidez e resistência a tração.

No polipropileno sindiotático a disposição das ramificações são alternadas em relação a cadeia principal. Este possui dureza inferior ao iPP, entretanto apresenta, por exemplo, melhor resistência ao impacto e boa claridade.

No polipropileno atático, não se observa uma regularidade na disposição das ramificações, isto é, as unidades monoméricas dispõem-se de forma aleatória ao longo da cadeia polimérica. Devido sua estrutura irregular, possui baixa cristalinidade do qual resulta em um material pegajoso, amorfo, usado principalmente na produção de adesivos e alcatrões de cobertura.

2.2 POLIETILENO

O polietileno (PE) é um dos polímeros mais utilizado dentre as resinas termoplásticas. Possui um grande volume de produção e como principal nicho de aplicação está o mercado de descartáveis (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

Este polímero possui boa capacidade de isolamento, alta resistência, durabilidade e flexibilidade mesmo em grandes variações de temperatura (de -70°C a $+90^{\circ}\text{C}$) (VALSANI, 1954). É obtido através da polimerização do monômero gasoso etileno (ou eteno), constituído de uma estrutura simples de longas cadeias de carbono e hidrogênio, conforme mostra a Ilustração 6.

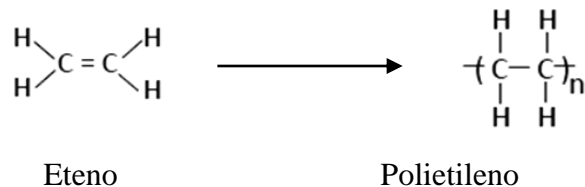


Ilustração 6 – Reação de polimerização do polietileno.

Esta polimerização pode ocorrer por diferentes tipos de reações, como por exemplo a polimerização por radicais livres, polimerização aniônica, polimerização por coordenação de íons ou polimerização catiônica. Cada um destes mecanismos de reação produz um tipo diferente de PE, a distinção entre eles é determinada pela massa molecular e presença de ramificações (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

Quando não houverem ramificações nas cadeias constituintes do PE, tem-se o PE linear ou polietileno de alta densidade (PEAD), conforme mostrado na Figura 7a e, quando alguns átomos de carbono, ao invés de associados a átomos de hidrogênio, estiverem associados a grandes cadeias de carbono, tem-se PE ramificado ou polietileno de baixa densidade (PEBD), conforme mostrado na Ilustração 7b.

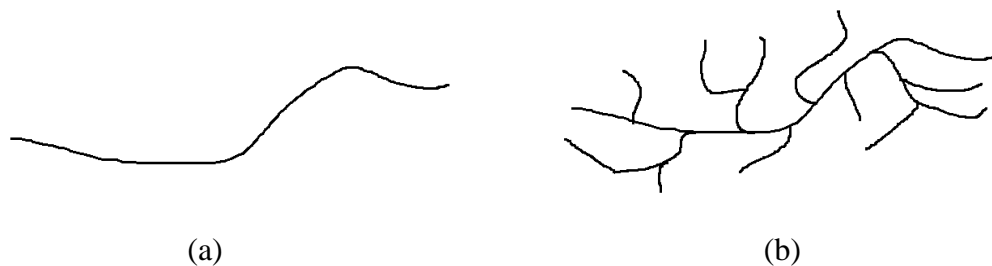


Ilustração 7 – Representação de (a) uma molécula de PE linear ou PEAD e (b) de uma molécula de PE ramificado ou PEBD.

O PE linear é mais resistente que o PE ramificado, porém o PE ramificado possui baixo custo e é mais fácil de produzir. Outras variações na estrutura e na massa molecular podem produzir formas distintas tais como, o polietileno linear de baixa densidade (PELBD), o polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM) e o polietileno de ultra baixa densidade

(PEUBD). Entretanto, a demanda do PE encontra-se dividida entre a maior rigidez do PEAD e a flexibilidade dos polietilenos de baixa densidade (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003; ROSSINI, 2005).

2.2.1 Polietileno de baixa densidade

O polietileno de baixa densidade (PEBD) é um dos mais antigos termoplásticos conhecidos, pois foi introduzido no mercado no final da década de 30. Sua produção é baseada na polimerização por radicais livres a alta pressão (entre 1.000 e 3.000 atmosferas) e alta temperatura (entre 100 e 300°C), fazendo uso de oxigênio, peróxidos e hidrogênios como iniciadores (catalisadores). Sua reação é altamente exotérmica e tal natureza a altas pressões conduz a uma grande quantidade de ramificações de cadeia, as quais influenciam significativamente nas propriedades do polímero.

As ramificações provocam o impedimento espacial dificultando um “empilhamento” das cadeias polimérica. Por essa razão, as forças intermoleculares que mantêm as cadeias poliméricas unidas tendem a ser mais fracas. Como resultado das ramificações, o produto PEBD, é um polímero parcialmente cristalino (em torno de 60%), de baixa densidade (de 0,910 a 0,925 g/cm³), e temperatura de fusão (T_m) em torno de 110 a 115°C (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

O PEBD e o PEBDL competem entre si, cada um com suas vantagens específicas, por exemplo, o PEBD possui maior transparência enquanto que o PEBDL tem maior resistência. O PEBD por ser mais flexível e fluido, é adequado a filmes para sacos plásticos, garrafas, brinquedos e revestimentos de fios/cabos. Por sua vez, o PEBDL possibilita produzir fios e películas mais finas, resistentes e recicláveis, tendendo a substituir o PEBD tradicional (ROSSINI, 2005).

2.2.2 Polietileno de alta densidade

O polietileno de alta densidade (PEAD) começou a ser utilizado no final da década de 50, é um polímero rígido e pouco fluido, é ideal para a produção de filamentos, moldagem a sopro e artigos como engradados, caixas e tanques (ROSSINI, 2005). É um termoplástico altamente cristalino, acima de 90%, com baixo teor de ramificações que confere a este polímero maior densidade, entre 0,935 a 0,970 g/cm³ e maior ponto de fusão, entre 130 a 135°C.

A polimerização do PEAD ocorre em ambientes de baixa pressão, de 10 a 15atm e temperaturas em torno de 20 a 80°C, utilizando catalisadores coordenados, tais como o Al e TiCl₄. A regularidade espacial e o pequeno tamanho das ramificações permitem uma maior compactação entre cadeias proporcionando, maior rigidez do produto, maior força de tensão e dureza e maior resistência ao calor, quando comparado ao PEBD (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

2.3 BLENIDAS POLIMÉRICAS

As blendas poliméricas são definidas como produtos da mistura física ou mecânica de dois ou mais polímeros ou copolímeros (UTRACKI, 1989).

Podem ser obtidas de duas maneiras: a) Pela fundição ou amolecimento dos componentes poliméricos a uma temperatura suficientemente alta para não causar a degradação dos mesmos e b) pela dissolução dos componentes poliméricos em um solvente comum aos mesmos, do qual posteriormente irá evaporar.

O desenvolvimento de blendas poliméricas se torna muito importante, pois, raramente todas as propriedades necessárias para a aplicação final de um produto estão reunidas em um único polímero. A mistura visa alcançar uma combinação das propriedades desejadas, de maneira que um polímero compense a deficiência do outro, melhorando o desempenho a um baixo custo e menor tempo de processamento quando comparados ao desenvolvimento de um novo polímero com propriedades semelhantes (WIEBECK; HARADA, 2005; ROBESON, 2007).

Outro ponto que amplia o interesse em seu desenvolvimento é a substituição de polímeros puros por misturas de polímeros descartáveis. A reciclagem mecânica provoca a quebra das cadeias poliméricas, prejudicando as propriedades dos polímeros, sendo esta degradação proporcional ao número de ciclos de reciclagem. A mistura pode resultar em materiais com propriedades interessantes a um baixo custo, além de ser uma solução para o aproveitamento do lixo.

Para obter blendas de qualidade, dois parâmetros devem ser considerados: a miscibilidade e a compatibilidade.

A miscibilidade é conduzida pelas interações entre os segmentos (meros) das macromoléculas. Se as interações são favorecidas, sem a ocorrência de separação de fases os polímeros são miscíveis, caso contrário, serão imiscíveis e não se misturarão.

O termo compatibilidade ocorre quando a mistura de dois polímeros atinge determinadas propriedades físicas, ou seja, esses polímeros não são termodinamicamente miscíveis, mas possuem estruturas similares que podem resultar em propriedades mecânicas desejáveis. Em geral, a blenda é compatível desde que se atinja uma propriedade útil, caso contrário tem-se a incompatibilidade. (ROSSINI, 2005; QUENTAL, CARVALHO, TADA, FELISBERTI, 2010).

Embora um número significativo de blends poliméricas seja caracterizadas como miscíveis, a maioria das misturas de polímeros são imiscíveis e, normalmente, para atingirem um desempenho satisfatório, são compatibilizadas adicionando um terceiro componente (ITO; PESSAN; HAGE JR.; COVAS, 2004). Conhecido como agente compatibilizante, reage quimicamente e/ou fisicamente com os polímeros formadores da mistura, aumentando a adesão entre os polímeros e melhorando as propriedades mecânicas do material resultante (FERNANDES, 2009; WIEBECK; HARADA, 2005).

Em blends miscíveis podem surgir propriedades intermediárias entre as propriedades individuais de cada componente. Já nas blends imiscíveis, compatíveis e incompatíveis, essas propriedades podem ter variações positivas ou negativas, como apresentado na Ilustração 8 (MUNARO, 2007).

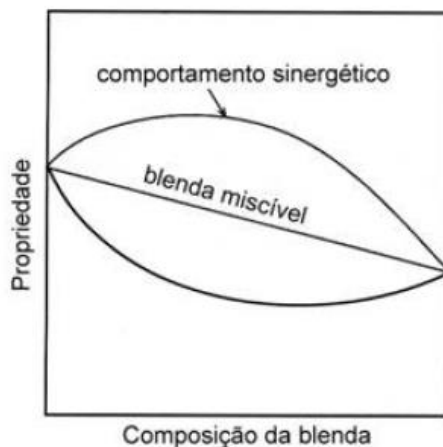


Ilustração 8 - Representação do comportamento das blends.

Fonte: MUNARO (2007).

2.3.1 Blendas de polipropileno com polietileno

Em 1951, descobriu que o iPP cristalino aumentava sua resistência ao impacto a baixas temperaturas, através da mistura de PE ou copolimerização com eteno (UTRACKI,

1989). Assim, uma das razões para unir o PP com PE foi melhorar o impacto a baixas temperaturas e as propriedades de fissuras ocasionadas por fatores ambientais.

O grande consumo anual do mundo do PP e PE foi outro ponto influente para os esforços contínuos das pesquisas para as várias questões dessas duas resinas. O PP normalmente é escolhido como uma mistura básica e os diferentes PE são selecionados como parte da mistura, no intuito de investigar os efeitos da ramificação – PEBD tem um maior grau de ramificações moleculares enquanto PEAD tem um menor (WONG; LAM, 2001).

O PP e PE são compatíveis mas parcialmente miscíveis, a mistura desses polímeros tende a separar em duas fases líquidas, perceptíveis microscopicamente. O polímero com a maior proporção forma a matriz é o que mais contribui nas propriedades da mistura, enquanto o polímero com a menor proporção forma pequenos domínios, que contribuem sinergicamente para certas propriedades específicas. A morfologia é distintamente diferente em cada caso e pelas taxas de cristalização pode se observar claramente se ocorreu uma fase homogênea ou uma separação de fases das blendas (SHANKS; LI; YU, 1999).

As blendas de PP e PEBD ou PEAD são geralmente consideradas imiscíveis no estado líquido. A imiscibilidade termodinâmica entre esses polímeros, sugere a adição de um agente compatibilizante, a fim de melhorar a adesão entre os componentes e as propriedades finais (UTRACKI, 2002). No entanto, a miscibilidade ou grau de dispersão das fases, tem sido bastante discutida. Isso significa que, de acordo com o método de ensaio utilizado, o sistema pode ou não ser homogêneo. Cada um dos diferentes métodos possui uma certa faixa de escala, por exemplo, microscópio óptico tem a capacidade de resolução de até 1 μ m, enquanto a microscopia eletrônica de transmissão (MET) pode distinguir a separação de fases em até 1 nm. A calorimetria diferencial de varredura (DSC), ensaios mecânicos e raio-X permitem a atribuição de parâmetros como ordenação interatômica e empacotamento de cadeia, entretanto, não mostram a distribuição real das cadeias e, por isso, podem depender de outros modelos (LI; SHANKS; OLLEY; GREENWAY, 2001).

Li; Shanks; Olle/y; Greenway (2001), observaram por análises microscópicas a morfologia das blendas PP/PEBD e PP/PEAD, na proporção em massa de 20% de PP e 80% PE, e concluíram que as misturas foram imiscíveis. Por outros lado, as blendas PP/PEBD com pequenas adições de PEBD (10%) causaram a redução da taxa de crescimento dos esferulitos e aumentou a cristalização do PP. Sendo esta mistura interpretada como parcialmente miscível na fundição.

Blom; Teh; Bremner; Rudin (1998) alegam que existe um certo grau de interação entre PP e PEAD quando a concentração de PEAD é inferior a 20%. O PEAD, a baixas concentrações, é capaz de penetrar a fase do PP, reduzindo o número e o tamanho das regiões dos segmentos de alta densidade, atrasando assim a nucleação e a cristalização do PP.

Chaudhari et al. (2007), demonstra um efeito positivo nas propriedades das blendas PP/PE irradiadas. A resistência a tração, resistência ao impacto e a dureza, aumentaram com a irradiação quando as blendas continham mais de 20% de PE e uma dose de 250kGy. As medidas de densidade revelaram ligações cruzadas e cisão de cadeia significativa após a irradiação nos domínios de PE e PP. Contudo a dose ótima necessária para melhoria nas propriedades foi diferente para as misturas com diferentes composições.

2.4 RADIAÇÃO

Radiação se define como uma energia que se propaga com alta velocidade através do espaço ou matéria em forma de partículas ou ondas eletromagnéticas (BUSHBERG; SEIBERT; LEIDHOLDT; BOONE, 1994).

As radiações sob a forma de partículas são caracterizadas por sua massa, carga e velocidade. Exemplos dessas radiações são os prótons, nêutrons e elétrons ejetados dos átomos.

A radiação eletromagnética é constituída por campos elétricos e magnéticos variando no espaço e no tempo, caracterizado pela amplitude e pela frequência. É absorvida e emitida pela matéria em quantas de energia. Alguns exemplos dessa radiação são a luz visível, microondas, ondas de rádio, radar, laser, raios-X e radiação gama. Além da capacidade de ionização, as radiações eletromagnéticas são mais penetrantes, quando comparadas com os demais tipos (ROSSINI, 2005; DROBNY, 2006). Dependendo da quantidade de energia e do comprimento de onda, estas podem ser ionizante ou não ionizantes.

2.4.1 Radiação não ionizante

As radiações não ionizante, possuem energia relativamente baixa, ou seja, são de baixa frequência e, por isso, não geram íons ao interagir com a matéria. As moléculas permanecem inalteradas e geralmente a energia é dissipada na forma de calor. Exemplo disso são as ondas eletromagnéticas como a luz visível, o calor e as ondas de rádio e televisão (ARGONE NATIONAL LABORATORY, 2005).

2.4.2 Radiação ionizante

As radiações denominadas de ionizantes produzem íons, radicais e elétrons livres na matéria com a qual interagiu. A ionização se deve ao fato das radiações possuírem alta energia, o suficiente para quebrar as ligações químicas ou expulsar elétrons dos átomos após as colisões (CARDOSO, 2013).

As três principais fontes de radiação ionizante são as partículas emitidas pelo núcleo instável na forma de partículas alfa (α) e beta (β) e os raios gama (γ) (ROSSINI, 2005). Essas emissões são apresentadas na Ilustração 9.

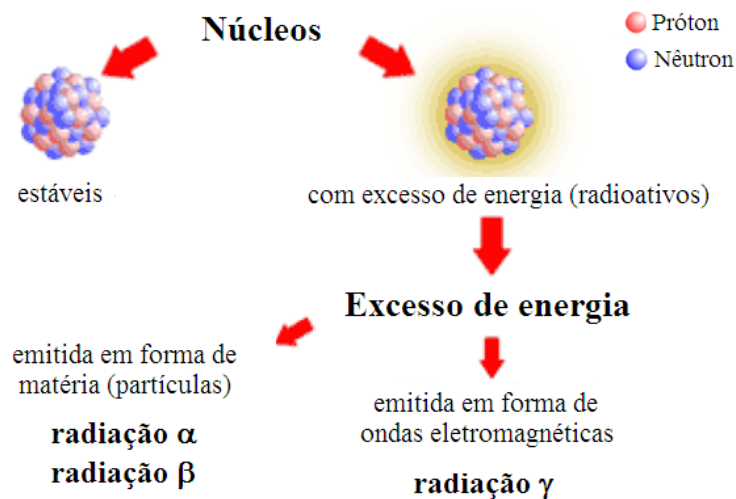


Ilustração 9 – Esquema da energia emitida pelos núcleos dos elementos radioativos.

Fonte: CARDOSO (2013).

O núcleo atômico de um elemento radioativo por ter excesso de partículas ou de carga se torna muito energético, e por isso, tende a estabilizar-se emitindo partículas ou fótons de alta frequência (CARDOSO, 2013).

A emissão dessas radiações, não altera o número de prótons ou nêutrons no núcleo, mas em vez disso tem efeito de modificar o núcleo de um estado instável, com excesso de energia, para um estado de energia mais baixa, estado estável. Dependendo da estrutura nuclear, da intensidade e da energia com que esses raios são emitidos é possível caracterizar o radioisótopo, isótopos que emitem radiação. Quando a energia de ligação não for suficientemente forte para manter o núcleo de um átomo em conjunto, o átomo é instável. Átomos com núcleos instáveis estão constantemente mudando, como resultado de um desequilíbrio da energia no interior do núcleo. Ao longo do tempo, os núcleos de isótopos

instáveis espontaneamente desintegram, ou transformam num processo conhecido como decaimento radioativo (ARGONE NATIONAL LABORATORY, 2005).

Um dos processos de estabilização de um núcleo com excesso de energia pode ocorrer através da radiação alfa, um grupo de partículas positivas, constituída por dois prótons e dois nêutrons. Sua massa e carga elétrica são relativamente maiores que as demais radiações. Apesar das partículas alfa serem bastantes energéticas são facilmente retidas.

A estabilização por radiação beta ocorre quando existe no núcleo um excesso de nêutrons ou prótons. Quando há excesso de nêutrons ocorre a emissão de uma partícula beta negativa, um elétron. Do contrário, o excesso de cargas positivas (prótons) faz emitir uma partícula beta positiva, um pósitron. Essas partículas são menos energéticas, porém, mais penetrantes que as partículas alfa, conforme apresentado na Ilustração 10.

A estabilização pela radiação gama sucede ao excesso de energia que permanece no núcleo após a emissão das partículas α ou β . Diferente dos raios α e β , que possuem carga positiva e negativa, os raios gama não possuem carga elétrica (CARDOSO, 2013). A partícula γ transporta mais energia que a partícula de luz, com alto poder de penetração é capaz de atravessar camadas espessas de concreto (RUIZ; TERENCE, 2009).

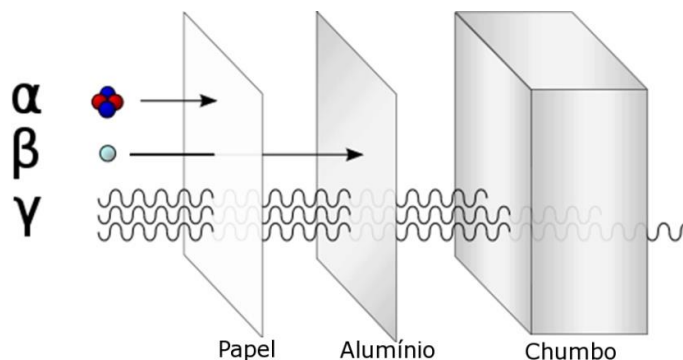


Ilustração 10 - Esquema comparativo do poder de penetração das radiações α , β e γ .

Fonte: LACERDA (2011).

2.4.2 Radiação gama (γ)

A radiação gama é uma radiação multidirecional da mesma natureza da luz visível ou ultravioleta, é bastante penetrante e conforme sua energia é capaz de atravessar grandes espessuras. Possui uma ampla área de aplicação no ramo da ciência e tecnologia. Com eles é possível destruir tumores cancerosos, radiografar enormes lingotes de metal com espessura de até 250mm, encontrar defeitos ocultos em peças acabadas, conservar e esterilizar produtos

alimentícios e medicamentos e realizar investigações científicas em muitos outros domínios da ciência moderna (WAS, 2007).

São gerados por núcleos de isótopos radioativos natural ou artificial, sendo o irradiador multipropósito de Cobalto-60 (^{60}Co) a fonte mais utilizada devido a sua longa meia-vida de 5,27 anos e sua facilidade de preparação (BETTINI, 1992).

A fonte de raios gama por ^{60}Co é constituída de um grande número de cápsula (tubos de zircônio com certa quantidade de ^{60}Co) cada um com uma atividade da ordem de 10^{15} Bq, rearranjados em uma estrutura de aproximadamente 1 x 1 m. De acordo com a intensidade da fonte pode ser utilizado nas paredes, concreto com espessura de 1,5 a 2,0 metros.

Os produtos são embalados em caixas e transportados automaticamente através de caminhos fixos, de forma a serem irradiados em ambos os lados, estabelecendo maior uniformidade das doses absorvidas pelo produto. As caixas são frequentemente transportadas em dois ou mais níveis e passam por duas ou mais vias laterais ao redor da fonte. Uma caixa na sala de irradiação pode permanecer de 4 a 24 horas, dependendo da dose a ser aplicada, da geometria do produto, do nuclídeo da fonte e da atividade da fonte.

Toda a energia da radiação deveria ser absorvida pelos produtos, entretanto, isso nunca ocorre. Em um processamento, somente cerca de 20 a 40% da radiação emitida é utilizada. O restante é absorvido dentro da fonte (por volta de 40 a 50% nas fontes de césio), na esteira, nos produtos e nas paredes de proteção. Se a energia fosse utilizada completamente, 1kW de radiação poderia processar 360kg de produto por hora com uma dose de 10 kGy (ROSA, 1991). O modelo desse irradiador pode ser observado na Ilustração 11.

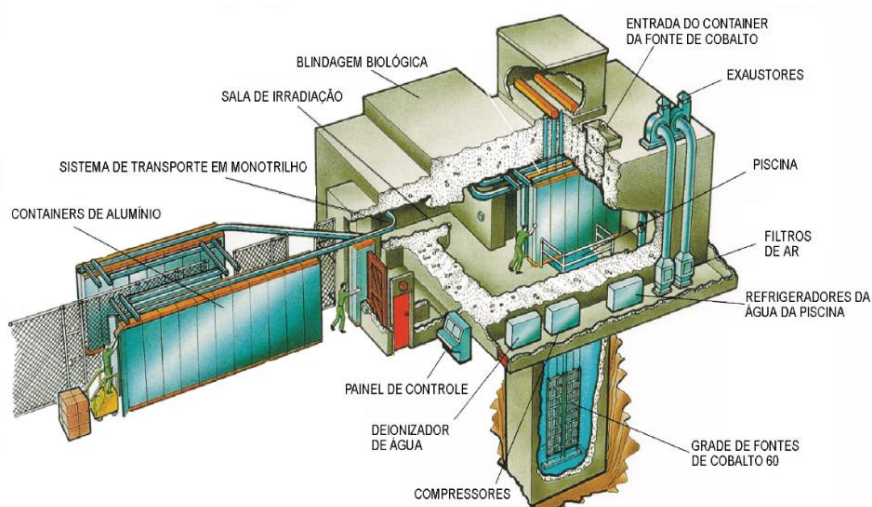


Ilustração 11 – Modelo de irradiador com fonte de Cobalto 60.

Fonte: USP-CENA/PCLQ (2002).

2.4.3 Irradiação de polímeros

O uso de radiação de alta energia para promover alterações benéficas em materiais poliméricos tem apresentado um rápido crescimento em certas partes da indústria de transformação devido as possibilidades de modificação dos polímeros através da reticulação e da cisão de cadeia, iniciar a polimerização, produzir copolímeros enxertados ou graftizados, curar certos sistemas e ainda causar degradação intencional, minimizando ou evitando o uso de solventes, iniciadores ou aditivos potencialmente tóxicos (ROSA, 1991; ANDRADE, 2011).

A interação da radiação ionizante com polímeros é um processo complexo e aleatório que resulta na formação de moléculas ionizadas e excitadas, as quais posteriormente se recombinam ou dissociam produzindo radicais livres ou íons (PINO; GIOVEDI, 2006). Estes podem levar, mais adiante, a outras reações químicas e modificar as estruturas poliméricas. Os maiores efeitos surgem da dissociação de ligações de valências primárias em radicais, dos quais, possuem uma importante participação nas reações químicas que ocorrem nos polímeros irradiados (ARTEL, 2000).

2.4.4 Efeitos induzidos pela radiação ionizante nas propriedades dos polímeros

As radiações de alta energia provocam uma sucessão de reações químicas e físicas ao interagir com a matéria. Durante a radiólise as reações mais importantes que ocorrem são as que provocam mudanças permanentes na massa molecular. O aumento ou diminuição da massa molecular são referidos como reticulação (ou *cross-linking*) e cisão de cadeia, respectivamente. Esses fenômenos ocorrem simultaneamente e um tende a predominar sobre o outro por diversos fatores como o tipo de material, dose de radiação, taxa de dose, atmosfera de irradiação, a estrutura química do polímero, dos aditivos usados na composição da resina, entre outros, (HILL; WHITTAKER, 2005; ALFARO, 2010; ANDRADE, 2011).

A reticulação, envolve a formação de ligações químicas entre as cadeias macromoleculares que compõem o polímero produzindo estruturas tri-dimensionais interligadas. Estas modificações estruturais, aumentam a massa molecular do polímero proporcionando melhoria nas propriedades mecânicas, físicas e químicas do material reticulado (PINO; GIOVEDI, 2006). Esse processo é iniciado pela abstração de átomos de hidrogênio das cadeias poliméricas, por força da ação da radiação, com a formação de radicais livres (ROSA, 1991), conforme mostra a Ilustração 12 (DROBNY, 2006).

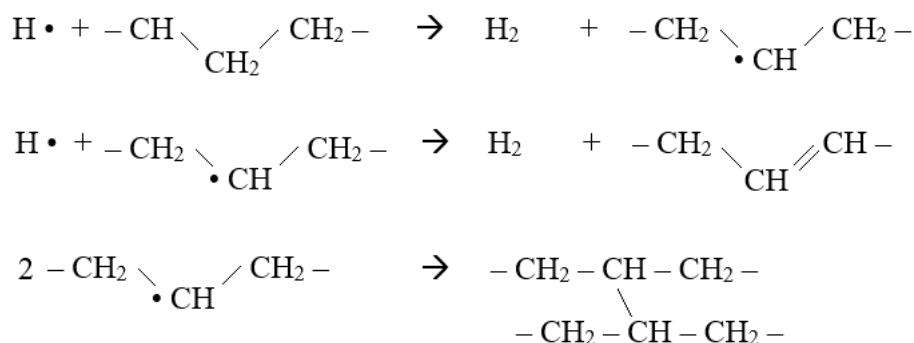


Ilustração 12 – Mecanismo de reticulação da cadeia polimérica.

Além da reticulação, a radiação pode provocar a degradação dos polímeros, através da cisão das cadeias. A degradação produz a ruptura aleatória das cadeias macromoleculares que compõem o material levando à formação de cadeias menores as quais reduzem a massa molecular média do polímero (PINO; GIOVEDI, 2006), ela provoca uma modificação irreversível nas propriedades dos materiais poliméricos, sendo evidenciada pela deterioração progressiva das propriedades, incluindo o aspecto visual dos polímeros (BETTINI, 1992). O mecanismo da cisão da cadeia é mostrada na Ilustração 13 (DROBNY, 2006):

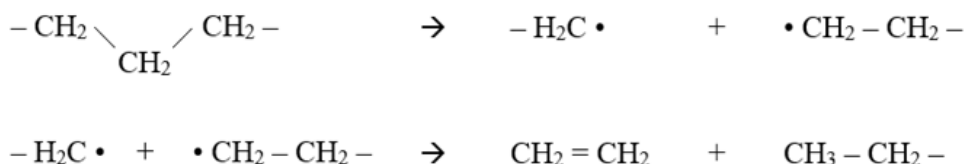


Ilustração 13 – Mecanismo de cisão da cadeia polimérica.

As transformações estruturais, induzidas pela radiação ionizante, sejam elas de reticulação ou cisão, provocam mudanças significativas nas propriedades. Entre as principais alterações observadas, destacam-se: o melhor desempenho em altas temperaturas, a maior resistência a solventes, a maior resistência a esforços mecânicos e melhores propriedades isolantes. Além disso, o controle do grau de reticulação de polímeros sólidos, sem a necessidade de utilização de catalisadores ou tratamento térmicos, é uma das maiores vantagens do processo de reticulação por radiação quando comparado a processos convencionais (PINO; GIOVEDI, 2006).

No caso dos polímeros semicristalinos como o PE e PP, o efeito da irradiação é observado predominantemente nos domínios amorfos do polímero (THORAT; PRABHU; KUMAR; PANDYA, 1996). O PE é um polímero que sofre predominantemente reticulação.

As reações ocorrem basicamente na fase amorfa (maior mobilidade) e, portanto, o grau de cristalinidade do PE (polímero semicristalino) afeta a reticulação. A presença de oxigênio durante a irradiação do PE afetará o rendimento das reações de reticulação, pois gera oxidação. Neste caso, a taxa de dose é muito importante, pois, uma menor taxa de dose permite uma maior difusão do oxigênio na amostra durante a irradiação (ROSSINI, 2005).

O PP possui dificuldade em promover a reticulação pelo fato da velocidade das reações tanto de reticulação quanto de cisão de cadeia ocorrer quase na mesma taxa de rendimento provocando uma degradação de suas propriedades. Altas energias e tratamento térmico provocam a cisão das cadeias do PP, principalmente na fronteira da fase cristalina com a amorfa. Na presença de oxigênio, o PP degrada muito pela reação dos radicais com o oxigênio formando peróxidos (ROSSINI, 2005). No entanto, os rendimentos respectivos e absoluto dos dois tipos de reações dependem também de uma série de fatores extrínsecos, tais como a presença de uma fase cristalina, a temperatura, a presença de instauração da cadeia de ponta e a presença de oxigênio. (HILL; WHITTAKER, 2005; RUIZ; TERENCE, 2009).

2.4.5 Interação da radiação γ nas propriedades dos polímeros

Os principais processos da interação da radiação gama com a matéria são: o efeito fotoelétrico, o efeito Compton e a produção de pares. A predominância entre esses três processos dependem da energia do fóton incidente, do número atômico (Z) e da densidade eletrônica do meio radiado.

O efeito fotoelétrico acontece quando um fóton incide num átomo, transferindo toda a sua energia a um único elétron da molécula irradiada, expelindo-o de seu orbital. A energia do elétron expelido (E_e) é igual a diferença da energia do fóton ($h\nu$) e da energia de ligação do elétron ao seu orbital (Q): $E_e = h\nu - Q$.

Esse processo é predominante para baixas energias. A absorção fotoelétrica tende a aumentar com o aumento do comprimento de onda da radiação e do Z do meio irradiado.

O efeito Compton ocorre quando um fóton interage com um elétron ligado ou livre dos átomos do absorvedor. O elétron recebe apenas parte da energia da radiação incidente, a outra parte é utilizada na criação de um outro fóton, com energia menor que a inicial e diferente direção de propagação.

Esse efeito predomina em radiações de energias intermediárias e depende da densidade do elemento. É inversamente proporcional à energia do fóton e proporcional ao número atômico do átomo absorvedor.

A produção de pares ocorre quando fótons com energia maior que 10MeV passam próximos a um campo elétrico existente ao redor do núcleo de um elevado Z. A radiação incidente interage com o núcleo transformando-se em duas partículas, o par elétron-pósitron: $\gamma \rightarrow \epsilon^- + \epsilon^+$ (energia cinética). Essas partículas perdem sua energia na recombinação do pósitron com o elétron, aniquilando ambos, e dando origem a dois raios γ emitidos em direções opostas (TERENCE, 2002; MELO, 2004).

A criação de pares ocorre em altas energias e com elementos de grande Z. A Ilustração 14 mostra a probabilidade de ocorrência dos efeitos citados em função da energia da radiação eletromagnética incidente e do Z do absorvedor.

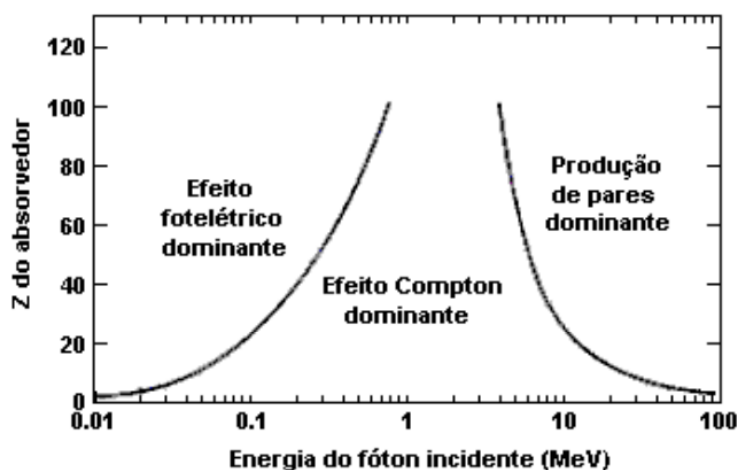


Ilustração 14 – Interação de ondas eletromagnéticas com a matéria

Fonte: MELO (2004).

2.5 MÉTODOS EXPERIMENTAIS PARA ANALISAR MATERIAIS POLIMÉRICOS

Diversas são as técnicas de análises utilizadas para avaliar as propriedades dos materiais poliméricos. No caso das blendas poliméricas, além das propriedades, é possível também avaliar a miscibilidade e a compatibilização das blendas, pois as blendas miscíveis apresentam alta adesão entre as fases e alta resistência mecânica, enquanto as blendas imiscíveis apresentam propriedades mecânicas inferiores. Existem vários testes e análises que permitem avaliação da miscibilidade e a compatibilização de blendas sendo que cada uma tem suas vantagens, desvantagens e seus limites (WIEBECK; HARADA, 2005).

2.5.1 Ensaio mecânico

Os ensaios mecânicos são testes que permitem avaliar as propriedades mecânicas dos polímeros em resposta as influências externas. Estão associadas às propriedades físicas e as características estruturais dos materiais poliméricos, ou seja, não envolvem nenhuma modificação estrutural do polímero em nível molecular, dependem somente da capacidade que cada material apresenta frente às transformações estruturais reversíveis ou irreversíveis. Os ensaios mais comumente empregados são (ROSSINI, 2005):

Resistência à tração: O teste de tração tem como objetivo submeter o material a esforço que provoque certa elongação até que aconteça ou não a ruptura do corpo de prova.

Resistência ao impacto: O teste de impacto visa verificar a quantidade de energia cinética envolvida desde o início da fratura até a possível ruptura do corpo de prova.

Resistência à flexão: O teste de flexão visa calcular a tensão máxima na fibra externa de um corpo de prova, no momento da ruptura ou nível máximo de deformação, quando submetido à flexão.

Resistência à dureza: O teste visa calcular a capacidade de um material de resistir à penetração de um indentador sob condições específicas (ALFARO, 2010).

No caso das blendas os ensaios mecânicos possibilitam avaliar a miscibilidade de polímeros, sendo os ensaios de tração os mais frequentes, de modo que, valores altos de tensão de ruptura, indicam que os polímeros são miscíveis ou compatíveis, enquanto que valores baixos indicam que os polímeros são imiscíveis (WIEBECK; HARADA, 2005).

2.5.2 Ensaio termomecânico

Ao se aquecer materiais poliméricos podem ocorrer várias transições estruturais, como por exemplo, fusão e cristalização, transição vítrea e modificação química. Para as caracterizações de blendas poliméricas as transições mais importantes são a temperatura de transição vítrea e a temperatura de fusão. Para fins práticos estas informações são muito importantes, pois definem quais são as faixas de temperatura adequada para se processar os polímeros. Além disso, no caso de blendas poliméricas possibilita diferenciar entre blendas miscíveis e imiscíveis (ROSSINI, 2005; WIEBECK; HARADA, 2005).

Temperatura de amolecimento (Vicat): Temperatura na qual uma agulha de ponta chata e dimensões especificadas penetra um determinado comprimento em um corpo de prova, a uma taxa de aquecimento constante padronizada, sob a ação de uma carga específica (normalmente 1kg ou 5kg) em condições padrões de teste.

Temperatura de deflexão sob carga (HDT): Temperatura na qual, sob determinadas condições, um corpo de prova (barra de dimensões específicas) sofre flexão sob carga a uma taxa de aquecimento constante, causando uma tensão máxima nas fibras do corpo de prova de 1,82MPa ou 0,455MPa.

2.6 DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS

O delineamento de experimento é uma ferramenta que consiste em avaliar, através de métodos ou técnicas estatísticas, o impacto da entrada do processo (e das interações entre elas) sobre as saídas, por meio de suposições e experimentos.

Um delineamento experimental é planejado de tal forma que a variação ao acaso seja reduzida o máximo possível. Dentre suas aplicações estão, por exemplo, tornar um processo mais robusto, isto é, menos afetado pelas fontes externas de variabilidade; melhorar as características tecnológicas do produto resultante e; reduzir o tempo de desenvolvimento e custo totais. O modelo geral de um processo ou sistema pode ser observado na Ilustração 15.

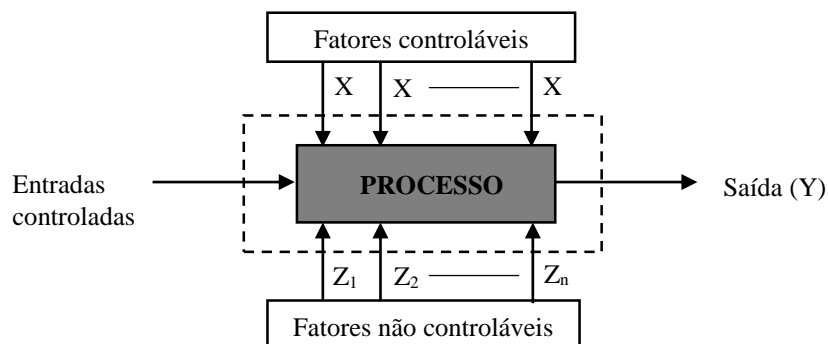


Ilustração 15 – Modelo de um processo ou sistema para o delineamento de experimentos.

Fonte: CALEGARE (2009).

A seguir, serão apresentadas algumas das técnicas utilizadas neste trabalho para o planejamento e a análise de experimentos.

2.6.1 Análise de variância - ANOVA

A análise de variância (ANOVA) é uma das mais importantes técnicas disponíveis para o tratamento de dados. Amplamente difundido entre os analistas, visa fundamentalmente verificar se existe uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente (LEWIS, 1995).

Para comparar as médias de duas amostras independentes, faz-se a combinação das variâncias amostrais: a) variância “dentro” dos tratamentos ou residual (S_R^2); e b) variância entre os tratamentos (S_E^2), em uma única estimativa conjunta. Para que a estimativa conjunta se justifique, é preciso testar a hipótese nula de que as S_R^2 e S_E^2 são estimativas de variância populacionais idênticas, $\sigma_R^2 = \sigma_E^2$. Isto pode ser avaliado através de um teste F, que se baseia na Equação 1 (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2003).

$$\frac{S_E^2}{S_R^2} = F_{Calc} \quad (\text{Equação 1})$$

O teste F (da distribuição de Fisher ou Snedecor) pressupõe as seguintes hipóteses para a comparação das variâncias “dentro” e “entre” os tratamentos (CALEGARE, 2009):

$H_0: \sigma_E^2 = \sigma_R^2 = \sigma^2$ (Não existe diferença entre os tratamentos)

$H_1: \sigma_E^2 > \sigma_R^2$ (Existe diferença entre os tratamentos)

Onde: σ_E^2 – é a variância entre os tratamentos.

σ_R^2 – é a variância residual (ou dentro) dos tratamentos.

A variável de teste é a estatística “F”, calculada conforme mostrado na Equação 1. Este valor deve ser comparado com o F_c (“F” crítico – valor retirado da tabela da distribuição) obtido para o nível de significância α , com os respectivos graus de liberdade:

A regra de decisão, ao nível α de significância é mostrada a seguir.

Se: $F_{calc} \leq F_c \rightarrow$ Aceitar H_0 . Não existe diferença entre os tratamentos.

Se: $F_{calc} > F_c \rightarrow$ Rejeitar H_0 . Existe diferença entre os tratamentos.

Os ensaios devem ser realizados em ordem aleatória para que o experimento seja chamado de completamente randômico ou aleatorizado.

Quando existem diferenças entre os tratamentos, isto é, quando a hipótese H_0 é rejeitada após a análise de variância, sabe-se que pelo menos um dos tratamentos (ou níveis do fator) é diferente dos demais. Portanto, existem diversos métodos para saber qual ou quais são diferentes, tais quais:

- Teste “T” ou LSD de Fisher
- Teste de Turkey
- Teste de Duncan
- Teste de Bonferroni

Existem muitas variações da ANOVA devido aos diferentes tipos de experimentos que podem ser realizados. Neste trabalho foi abordado apenas a análise de variância com um e dois fatores, adotando o modelo de efeitos fixos e experimentos com mesmo número de réplicas nos tratamentos. Optou-se, também, por aplicar o Teste de Duncan, do qual mais conceitos foram abordados no item seguinte.

2.6.2 Método de Duncan

O método de Duncan é amplamente usado para as comparações de todos os pares de médias, isto é, ele é muito efetivo para identificar diferenças entre duas médias, dentre as várias existentes.

Estas diferenças são comparadas com a diferença mínima significativa de Duncan (dms_p). Os extremos não precisam ser comparados, pois, como H_0 foi rejeitado, sabe-se que existem pelo menos dois tratamentos diferentes. A regra de decisão passa ser a seguinte:

$$\begin{aligned} |\bar{Y}_w - \bar{Y}_k| \leq dms_p &\rightarrow \text{Não existe diferença entre as médias } w \text{ e } k. \text{ Portanto, não há} \\ &\text{diferença entre os tratamentos } w \text{ e } k. \\ |\bar{Y}_w - \bar{Y}_k| > dms_p &\rightarrow \text{Existe diferença entre as médias } w \text{ e } k. \text{ Portanto, há diferença} \\ &\text{entre os tratamentos } w \text{ e } k. \end{aligned}$$

Sendo: \bar{Y}_w : média amostral do tratamento w.

\bar{Y}_k : média amostral do tratamento k.

A diferença mínima significativa (dms) de Duncan para a diferença entre duas médias quaisquer é dada pela Equação 2:

$$dms_p = [r_{(\alpha;p;f)}] \cdot \sqrt{\frac{S_R^2}{n}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: $r_{(\alpha;p;f)}$ – retirado da tabela de amplitudes significativas para o método de Duncan.

α – nível de significância do experimento.

p – número de médias internas à comparação incluindo os extremos ($p = 2, 3, \dots, a$).

f – número de graus de liberdade do erro residual.

S_R^2 – variância residual (“dentro” dos tratamentos).

n – número de elementos (réplicas) por tratamento.

Se o nível do experimento é α , então os testes das diferenças das médias têm nível de significância maior ou igual a α , o que torna o método mais sensível na identificação das diferenças entre duas médias.

2.6.3 Probabilidade de significância (P-Valor)

A Probabilidade de Significância (p-valor) é um procedimento de teste alternativo ou complementar de um teste de hipóteses, representa uma informação adicional para a decisão de aceitar ou rejeitar a hipótese nula.

O p-valor é o menor valor do nível de significância α que levaria à rejeição da hipótese nula (H_0), ou seja:

Para valores de $\alpha \geq \text{p-valor}$ (Rejeita a hipótese H_0)

Para valores de $\alpha < \text{p-valor}$ (Aceita a hipótese H_0)

Desta forma, quanto menor for o p-valor, maiores são as justificativas para a rejeição de H_0 . Quando, no entanto, o p-valor é grande, as evidências para a rejeição de H_0 são mais fracas (CALEGARE, 2009).

2.6.4 Planejamento fatorial 2^k

Planejamento consiste em projetar um experimento de forma que ele seja capaz de fornecer exatamente o tipo de informação que procuramos. Dentre os métodos de planejamento experimental disponíveis na literatura, o planejamento fatorial é o mais indicado quando se deseja estudar os efeitos de duas ou mais variáveis de influência, sendo que em cada ensaio ou réplica, todas as combinações possíveis dos níveis de cada variável são investigadas. O planejamento fatorial possibilita (CUNICO et al., 2008):

- reduzir o número de ensaios sem prejuízo da qualidade da informação;
- estudar simultaneamente diversas variáveis, separando seus efeitos;
- determinar a confiabilidade dos resultados;
- realizar a pesquisa em etapas, num processo iterativo de acréscimo de novos ensaios;
- representar o processo estudado através de expressões matemáticas;
- elaborar conclusões a partir de resultados qualitativos.

Este tipo de planejamento representado por nk , onde k representa o número de fatores e “ n ” o número de níveis escolhidos. O caso mais simples de planejamento fatorial é aquele em que cada fator k está presente em apenas dois níveis (experimento fatorial $2k$), ou seja, em um experimento com k fatores (ou variáveis) e dois níveis, são realizados $2 \times 2 \times \dots \times 2$ (k vezes) = $2k$ ensaios diferentes (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2003).

Neste tipo de planejamento fatorial, é comum codificar os níveis com os sinais (+) e (-), atribuição aos níveis alto ou baixo dos fatores. Estes sinais se dá de forma arbitrária e não interfere na realização dos experimentos ou interpretação dos resultados. Com essa denotação é possível esquematizar as variáveis na forma de matrizes e assim, por meio de cálculos, determinar a influência das mesmas e das suas interações no sistema (MONTGOMERY; RUNGER, 2003). Além disso, as réplicas ou repetições de experimentos são importantes para determinar o erro experimental na resposta em estudo e/ou produtividade do esquema experimental utilizado (metodologia e equipamentos).

Todos os ensaios e réplicas devem ser realizados de forma aleatória, evitando distorções estatísticas comprometedoras da qualidade dos resultados obtidos e dos efeitos calculados para as variáveis em estudo (CUNICO et al., 2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo consiste em uma descrição de todos os materiais e métodos empregados na execução deste trabalho.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados nesse estudo foram polipropileno (PP ou iPP) puro homopolímero H306 (Anexo A1), polietileno de baixa densidade (PEBD) puro PB681/59 (Anexo A2) e polietileno de alta densidade (PEAD) puro HC7260LS-L (Anexo A3), todos fornecidos pela empresa Braskem Brasil (2013).

3.2 DESENVOLVIMENTO DAS BLENIDAS

Para desenvolver as blendas PP/PEBD e PP/PEAD, partiu-se do polímero puro (PP) com massa total de 1,5kg, e em seguida, utilizou-se a porcentagem das massas de cada componente variando nas proporções conforme mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Variação da concentração das blendas PP/PEBD, % em massa.

Blenda	0/100	10/90	20/80	30/70	40/60	50/50	60/40	70/30	80/20	90/10	100/0
ConcPP	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ConcPEBD	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0

Analogamente, foram desenvolvidas as blendas PP/PEAD, conforme as proporções mostradas na Tabela 2.

Tabela 2 – Variação da concentração das blendas PP/PEAD, % em massa.

Blenda	0/100	10/90	20/80	30/70	40/60	50/50	60/40	70/30	80/20	90/10	100/0
ConcPP	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ConcPEAD	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0

Os corpos de provas para o ensaio das propriedades mecânicas dos polímeros puros e blendas foram produzidas em quantidades unitárias conforme são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Quantidade estimada de corpos de prova de polímeros puros e blendas utilizados.

Propriedade	Ensaio	Número Réplicas	Materiais	Polímeros		Número de corpos de prova					Total									
				Puro	Blenda	Radiação (kGy)														
						0	30	50	100	200										
Mecânica	Tração	6	Polímeros Puros de PP/PEBD/PEAD Blendas de PP/PEBD e de PP/PEAD	3	18	126	126	126	126	126	630									
	Flexão	5				105	105	105	105	105	525									
	Impacto (Izod)	11				231	231	231	231	231	1.155									
	Dureza Shore D	5				105	105	105	105	105	525									
Termomecânica	Temperatura de deflexão sob carga (HDT)	3				Polímeros Puros de PP/PEBD/PEAD Blendas de PP/PEBD e de PP/PEAD	3	18	63	63	63	63	63	315						
	Temperatura de amolecimento (Vicat)																			
TOTAL DE CORPOS DE PROVA															3.150					

Portanto, foram preparados, aproximadamente, 3.150 corpos de provas. O número de corpos de provas replicados, foram fabricados para obter variâncias próximas e precaver-se contra perdas no processo de produção ou mesmo na realização dos ensaios. Adicionalmente, as quantidades de corpos de provas foram duplicadas para serem irradiadas.

A determinação da quantidade de corpos de prova para as réplicas não seguiu um procedimento teórico como o sugerido por Calegare (2009). Com base na proteção dada contra o erro tipo I (Probabilidade α - quando uma hipótese verdadeira é rejeitada), sem levar em consideração o erro tipo II (Probabilidade β - quando uma hipótese falsa é aceita como verdadeira), Calegare (2009) mostra um roteiro para determinação do número mínimo de réplicas.

3.3 EQUIPAMENTOS

Os equipamentos utilizados na produção das amostras foram: misturador da MH Equipamentos, para garantir a homogeneização da mistura, moinho de facas SEIBT, modelo MGHS 4/180, extrusora HAAKE, modelo RHEOMEX 252 de rosca simples e, injetora ROMI, modelo PRIMAX 65R para a confecção dos corpos de prova.

A extrusão foi realizada utilizando-se as temperaturas de 155°C, 165°C, 180°C e 200°C, nas 3 zonas de aquecimento e cabeçote de extrusão, respectivamente. Após a extrusão o material foi transformado em grânulos (*pellets*) e então injetado nas condições inicial de 190°C, 185°C, 175°C e 160°C nas zonas de aquecimento da injetora.

Também foram confeccionados corpos de provas para: PP, PEBD e PEAD puros, utilizando a injetora ROMI nas mesmas condições das demais blendas.

3.4 IRRADIAÇÃO DAS BLENIDAS

Os corpos de prova, foram irradiados no Centro de Tecnologia das Radiações (CTR) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), com raios gama proveniente de uma fonte de ^{60}Co multipropósito, com taxa de dose de 11,6 kGy/h e doses de radiação de 30kGy, 50kGy, 100kGy e 200kGy.

3.5 ENSAIOS LABORATORIAIS

As propriedades das blendas poliméricas não irradiadas e irradiadas a diferentes doses entre 30 e 200kGy foram analisadas, no período entre o segundo semestre de 2012 e primeiro semestre de 2013, por meio dos ensaios mecânicos e termomecânicos

Todos os ensaios de caracterização das amostras foram realizados no laboratório de Caracterização e Processamento de Materiais da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Seguindo as normas da Associação de Normas Técnicas Norte Americana (ASTM, do inglês: *American Society for testing and Materials*).

3.5.1 Ensaios mecânicos

As propriedades mecânicas foram determinadas através dos ensaios de resistência à tração, flexão, impacto Izod e dureza Shore D.

3.5.1.1 Resistência à tração

Os ensaios de resistência à tração foram realizados no equipamento universal da MTS System Corporation, modelo QTest, seguindo a norma ASTM D-638. Determinou-se a tensão máxima de ruptura, a deformação final e o módulo de elasticidade. Os resultados apresentados expressam a média dos valores parciais obtidos durante o ensaio.

3.5.1.2 Resistência à flexão

Os ensaios de resistência à flexão foram realizados no mesmo equipamento do ensaio de resistência à tração, seguindo a norma ASTM D-790. Determinou-se a resistência de

curvatura, a deformação até a carga máxima e o momento de ruptura. Os resultados apresentados expressam a média dos valores parciais obtidos durante o ensaio.

3.5.1.3 Resistência ao impacto Izod

Os ensaios de resistência ao impacto tipo Izod com entalhe foram realizados nos equipamentos da Tinius Olsen, modelo 892 e modelo 899 (entalhadora), seguindo a norma ASTM D-256. Determinaram-se as energias necessárias para o rompimento do material e o tipo de fratura ocorrido com o impacto. Os resultados apresentados expressam a média dos valores parciais obtidos durante o ensaio.

3.5.1.4 Dureza Shore D

Os ensaios de dureza foram realizados no durômetro Shore da Mitutoyo, modelo Hardmatic HH 314 com escala D, seguindo a norma ASTM D-2240. Os resultados apresentados expressam a média dos valores parciais obtidos durante o ensaio.

3.5.2 Ensaio termomecânicos

As propriedades termomecânicas foram determinadas através dos ensaios de temperatura de amolecimento e temperatura de deflexão sob carga.

3.5.2.1 Temperatura de amolecimento (Vicat)

O ensaio para determinar a temperatura de amolecimento (Vicat) foi realizado no mesmo equipamento do teste de deflexão térmica, seguindo a norma ASTM D-1525. Os resultados apresentados expressam a média dos valores parciais obtidos durante o ensaio.

3.5.2.2 Temperatura de deflexão sob carga (HDT)

O ensaio para determinar a temperatura de deflexão sob carga (HDT, *Heat Distortion Temperature*) foi realizado no equipamento da marca Tinius Olsen, modelo HD

94/398, seguindo a norma ASTM D-648. Os resultados apresentados expressam a média dos valores parciais obtidos durante o ensaio.

3.6 METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste item estão descritos os elementos do delineamento do experimento, ou plano formal, utilizado para conduzir o experimento.

a) Fatores

Foram considerados dois fatores controláveis: concentração da blenda e dose de radiação gama como variáveis causadoras de efeitos na variável resposta (ou dependente).

Simplificadamente, o delineamento do experimento relacionado aos fatores, pode ser visualizado na Ilustração 16.

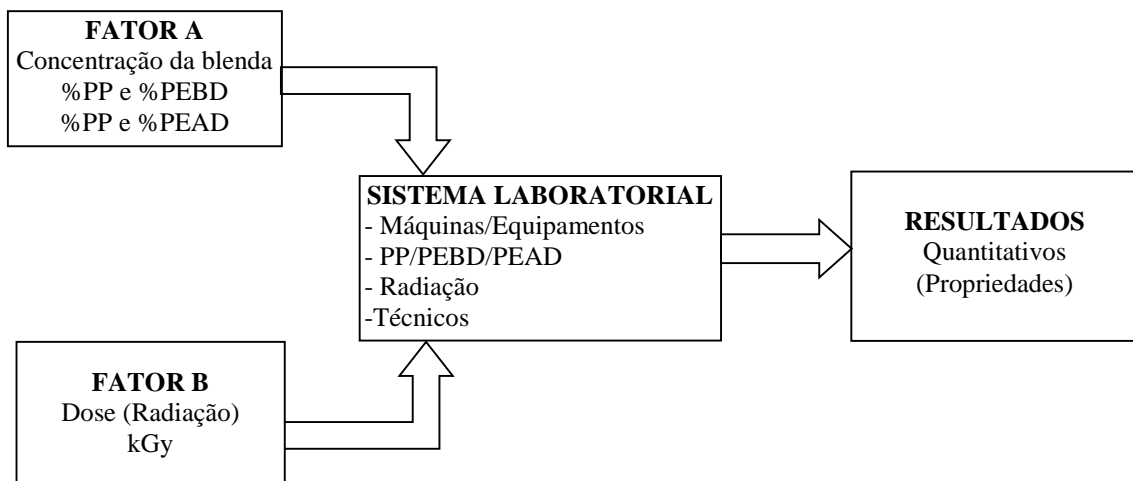


Ilustração 16 - Representação simplificada do método de análise dos dados.

b) Níveis dos fatores

Para o fator concentração, foram escolhidos 9 níveis de misturas poliméricas para cada mistura de PP com PE, como mostra a Tabela 4 e Tabela 5:

Tabela 4 – Concentrações de PP e PE utilizadas, % em massa.

Blenda	10/90	20/80	30/70	40/60	50/50	60/40	70/30	80/20	90/10
ConcPP	10	20	30	40	50	60	70	80	90
ConcPEBD	90	80	70	60	50	40	30	20	10

Tabela 5 – Concentrações de PP e PEAD utilizadas, % em massa.

Blenda	10/90	20/80	30/70	40/60	50/50	60/40	70/30	80/20	90/10
ConcPP	10	20	30	40	50	60	70	80	90
ConcPEAD	90	80	70	60	50	40	30	20	10

Para o fator radiação foram escolhida 5 doses: 0kGy, 30kGy, 50kGy, 100kGy e 200kGy.

Vale salientar que para os polímeros puros as disposições dos tratamentos foram diferentes conforme é visto no item seguinte.

c) Tratamento, ensaios e réplicas

Foram realizados ensaios para cada tratamento, isto é, para cada combinação de níveis de misturas poliméricas e de dose de radiação gama. Esquemáticamente, a disposição dos tratamentos, ensaios e réplicas podem ser visto na Tabela 6.

Tabela 6 – Disposição de dados para o experimento com 2 fatores e n réplicas.

FONTES DE VARIAÇÃO			FATOR B (Dose)				
			0kGy	30kGy	50kGy	100kGy	200kGy
			1	2	3	4	5
FATOR A (Blendas Poliméricas)	100% PP	1	Y ₁₁₁ ... Y _{11n}	...	...	...	Y ₁₅₁ ... Y _{15n}
	10% PP 90% PEBD	2	Y ₂₁₁ ... Y _{21n}	...	...	...	Y ₂₅₁ ... Y _{25n}
	20% PP 80% PEBD	3	Y ₃₁₁ ... Y _{31n}	...	...	...	Y ₃₅₁ ... Y _{35n}
	30% PP 70% PEBD	4	Y ₄₁₁ ... Y _{41n}	...	...	...	Y ₄₅₁ ... Y _{45n}
	40% PP 60% PEBD	5	Y ₅₁₁ ... Y _{51n}	...	...	...	Y ₅₅₁ ... Y _{55n}
	50% PP 50% PEBD	6	Y ₆₁₁ ... Y _{61n}	...	...	...	Y ₆₅₁ ... Y _{65n}
	60% PP 40% PEBD	7	Y ₇₁₁ ... Y _{71n}	...	...	...	Y ₇₅₁ ... Y _{75n}
	70% PP 30% PEBD	8	Y ₈₁₁ ... Y _{81n}	...	...	...	Y ₈₅₁ ... Y _{85n}
	80% PP 20% PEBD	9	Y ₉₁₁ ... Y _{91n}	...	...	...	Y ₉₅₁ ... Y _{95n}
	90% PP 10% PEBD	10	Y ₁₀₁₁ ... Y _{101n}	...	...	...	Y ₁₀₅₁ ... Y _{105n}
	100% PEBD	11	Y ₁₁₁₁ ... Y _{111n}				Y ₁₁₅₁ ... Y _{115n}

Para verificar se os tratamentos da combinação da concentração polimérica com a dose de radiação eram diferentes diante de seus efeitos, utilizou-se da análise de variância com 2 fatores.

A análise de variância com 2 fatores (*Two-Way ANOVA*) informa somente se há ou não uma diferença estatisticamente significativa entre dois ou mais tratamentos. Não informa as diferenças entre os pares de tratamentos envolvidos, isto é, a diferença entre cada combinação. Para identificar as diferenças entre os pares de tratamentos deve-se realizar

comparações entre eles. Segundo Doria Filho (1999) os estatísticos divergem quanto à escolha do teste mais apropriado em cada situação: teste de Fisher, de Duncan, de Newman-Keuls, de Tukey e de Scheffe. Nesse sentido, escolheu-se o teste de Duncan, por ser um dos mais usados para este tipo de problema, para conhecer as diferenças de tratamento entre pares.

Complementarmente, utilizou-se ainda da técnica Fatorial 2^k (k = número de fatores) para verificar a significância estatística dos efeitos da concentração e da radiação nos tratamentos entre pares. Quando existe uma interação significativa, a interpretação dos efeitos principais deixa de ser importante, porque, interpretar os efeitos principais na presença de uma interação significativa pode conduzir a conclusões enganosas. Os efeitos da interação requerem explicações teóricas mais complexas que os efeitos individuais.

Assim, nesse estudo, a análise fatorial 2^k (k = 2 fatores) gerou 4 ensaios, optou-se em aplicar a técnica para apenas os valores de extremos dos fatores: concentração [$A_1 = 20$; $A_2 = 80$] e radiação [$B_1 = 30$; $B_2 = 200$], para facilitar a visualização dos efeitos e conceitos. A estrutura para a aplicação da técnica da análise Fatorial 2^k (k = 2) é mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Estrutura para a análise Fatorial 2^2 .

		FATOR B (Dose kGy)	
		B ₁ (-)	B ₂ (+)
FATOR A (% PP e % PE)	A ₁ (-)	Resposta ₁₁ , A ₁ , B ₁	Resposta ₁₂ , A ₁ , B ₂
	A ₂ (+)	Resposta ₂₁ , A ₂ , B ₁	Resposta ₂₂ , A ₂ , B ₂

Especificamente, para os polímeros puros de PP, PEBD e PEAD, foi adotado a análise de variância com um único fator, cuja disposição dos tratamentos, ensaios e réplicas podem ser visto na Tabela 8.

Tabela 8 – Disposição de dados para o experimento com um único fator e n réplicas.

FONTE DE VARIACÃO	FATOR ÚNICO (Dose)				
	0kGy	30kGy	50kGy	100kGy	200kGy
Polímero (Puro)					
Ensaios	1	2	3	4	5
1	Y ₁₁	...	...	...	Y ₅₁
2	Y ₁₂	...	...	...	Y ₅₂
3	Y ₁₂	...	...	...	Y ₅₃
....
n	Y _{1N}	...	...	...	Y _{5N}

O processo dos tratamentos podem ser representadas por um fluxograma conforme é mostrado na Ilustração 17.

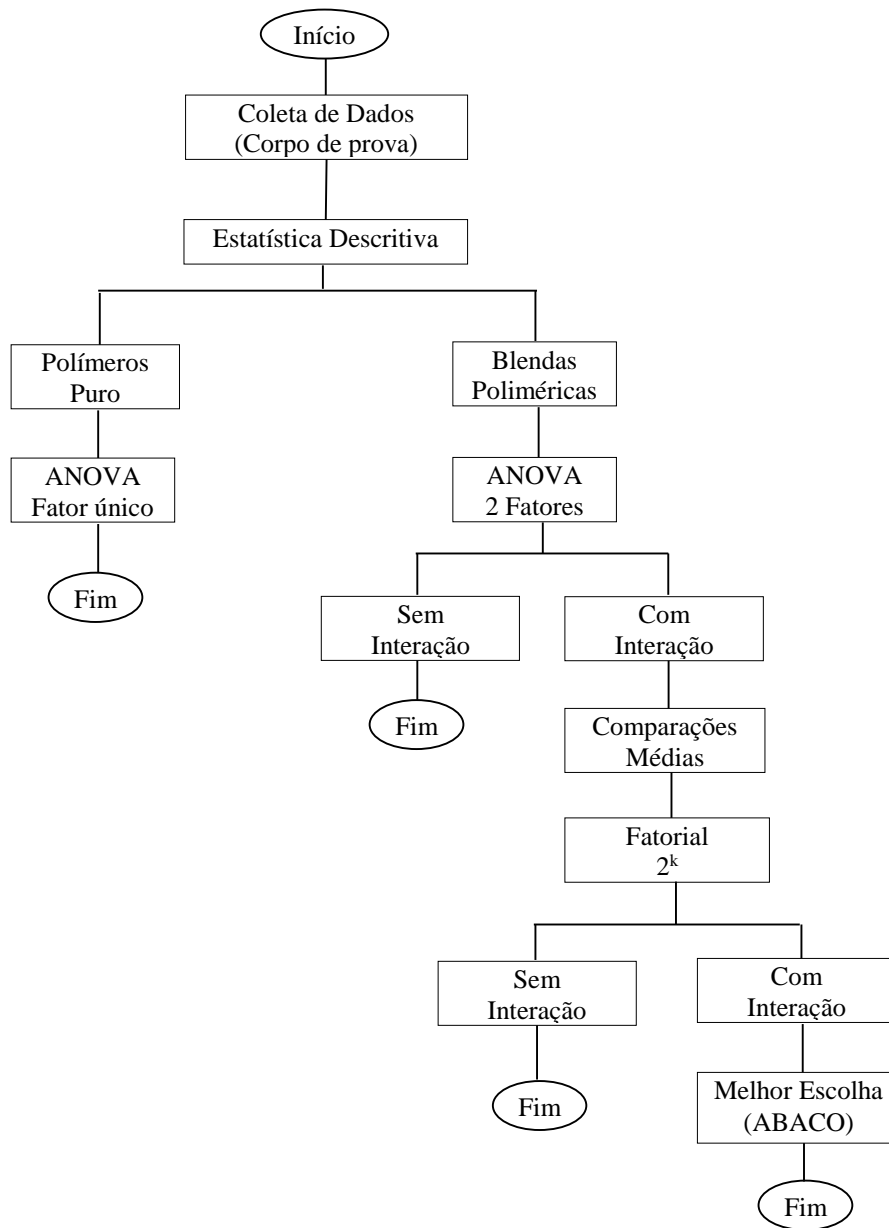


Ilustração 17: Fluxograma dos testes estatísticos aplicados.

Por fim, foi utilizado os softwares estatísticos SPSS e MINITAB para a efetivação do planejamento do experimento. Com isso, esperou-se responder o problema de pesquisa e atender os objetivos propostos para este estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo descreve todas as observações e resultados obtidos nos ensaios mecânicos (tração, flexão, impacto e dureza) e termomecânicos (Vicat e HDT).

4.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os polímeros puros e as blendas poliméricas não irradiadas e irradiadas a diferentes doses entre 30 e 200kGy foram caracterizadas pelos ensaios de tração, flexão, impacto Izod e dureza Shore D.

4.1.1 Ensaio de resistência à tração

No ensaio de resistência à tração foi selecionado a propriedade tensão máxima de ruptura para avaliar os efeitos da concentração e radiação nas blendas PP/PE. Os valores obtidos para os polímeros puros PP, PEBD e PEAD referências para as discussões.

4.1.1.1 Ensaio de resistência à tração em polímeros puros

Os resultados da modelagem estatística, para os polímeros puros PP, PEBD e PEAD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 9 mostra os valores médio da tensão máxima de ruptura obtidos, para os polímeros puros PP, PEBD e PEAD, nas diferentes doses, e seus respectivos desvios padrão (DP).

Tabela 9 – Polímeros Puros PP, PEBD e PEAD: Valores médios da tensão máxima de ruptura e dos respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiadas e irradiadas.

Dose	0kGy		30kGy		50kGy		100kGy		200kGy	
Polímeros	Tensão máx. (MPa)	DP (MPa)	Tensão máx. (MPa)	DP (MPa)	Tensão máx. (MPa)	DP (MPa)	Tensão máx. (MPa)	DP (MPa)	Tensão máx. (MPa)	DP (MPa)
PP	29,5	0,2	30,6	0,1	32,3	0,5	23,6	0,3	15,8	2,2
PEBD	9,8	0,6	10,1	0,4	9,5	0,4	10,4	0,3	9,9	0,2
PEAD	21,6	0,6	23,2	0,9	21,6	0,7	23,2	0,2	23,6	0,3

Obs: Ensaios realizados com 6 réplicas ($n = 6$).

b) Análise da Variância – FATOR ÚNICO

Pela ANOVA foram investigados os efeitos dos 5 níveis do fator (ou 5 tratamentos). O experimento para cada um desses níveis foi executado 6 vezes e o resultado da ANOVA *One-Way* para os polímeros PP, PEBD e PEAD, estão descritos na Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12, respectivamente.

Tabela 10 – ANOVA Fator único para PP puro: Ensaio de tração.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	1.087,55	271,89	255,26	0,000
Residual	25	26,63	1,07		
Total	29	1.114,17			

Tabela 11 – ANOVA Fator único para PEBD puro: Ensaio de tração.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	2,80	0,70	4,25	0,009
Residual	25	4,11	0,16		
Total	29	6,91			

Tabela 12 – ANOVA Fator único para PEAD puro: Ensaio de tração.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	22,59	5,65	14,75	0,000
Residual	25	9,57	0,38		
Total	29	32,17			

O teste “F” mostra que existe diferenças entre os tratamentos no nível de significância estatística $\alpha = 5\%$, ou seja, $p \leq 0,05$. Resta saber qual ou quais foram diferentes, para isso, aplicou o teste de Duncan conforme mostram as tabelas seguintes.

c) Método de Duncan

Para solucionar a questão de qual ou quais tratamentos (Dose) foram diferentes, aplicou-se o teste de Duncan. As médias foram comparadas duas a duas e suas diferenças apresentadas na Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15 para o PP, PEBD e PEAD, respectivamente, através de grupos nomeados como A, B, C e D.

Grupos semelhantes indicam que não houve diferença significativa entre as médias, e os fatores não foram suficientes para provocar mudanças significativas na propriedade do material.

O coeficiente de variação (CV) é uma medida relativa de variabilidade, fornece a variação dos dados obtidos em relação à média. Sua principal aplicação na pesquisa é comparar a precisão dos diferentes experimentos, quanto menor for o seu valor, mais homogêneos serão os dados.

Tabela 13 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PP puro: Ensaio de Tração.

Dose (kGy)	PP (100%)				
	n	Tensão Máx. de Ruptura (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Teste Ducan
0	6	29,5	0,2	0,68	C
30	6	30,6	0,1	0,33	C
50	6	32,3	0,5	1,55	D
100	6	23,6	0,3	1,27	B
200	6	15,8	2,2	14,0	A

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Para o PP o teste de Duncan mostra 4 grupos. Percebe-se uma tendência de redução nos valores da propriedade, isto é, conforme Rossini (2005) altas energias implicam na cisão de cadeia do PP.

Por outro lado, os ensaios mostraram um aumento de aproximadamente 10% na tensão máxima de ruptura do polímero quando submetido a dose de 50kGy. Como a reticulação

e cisão de cadeias ocorrem quase na mesma taxa de rendimento, doses inferiores podem ter provocado a reticulação do PP, entretanto, erros experimentais não devem ser descartados.

Tabela 14 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEBD puro: Ensaio de Tração.

Dose (kGy)	PEBD (100%)				
	<i>n</i>	Tensão Máx. de Ruptura (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Teste Duncan
0	6	9,8	0,6	6,12	A B
30	6	10,1	0,4	3,96	B C
50	6	9,5	0,4	4,21	A
100	6	10,4	0,3	2,88	C
200	6	9,9	0,2	2,02	A B C

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Tabela 15 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEAD puro: Ensaio de Tração.

Dose (kGy)	PEAD (100%)				
	<i>n</i>	Tensão Máx. de Ruptura (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Teste Duncan
0	6	21,6	0,6	2,78	A
30	6	23,2	0,9	3,88	B
50	6	21,6	0,7	3,24	A
100	6	23,2	0,2	0,86	B
200	6	23,5	0,3	1,28	B

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Para o PEBD e PEAD não foi possível observar uma tendência nos resultados. A equivalência alternada dos grupos nesse intervalo dificultou a identificação da reação ocorrida. Diversos autores alegam a reticulação do PE baseados em pesquisas com doses maiores. Entretanto, assim como Spadaro; Rizzo; Acierno; Calderaro (1984) o efeito da radiação foi insignificante para o PEBD.

Apesar disso, grupos diferentes indicam que essas doses foram significativas para provocarem mudanças nos PEs. O Gráfico 2 mostra as curvas dos polímeros quando submetidos a cada dose.

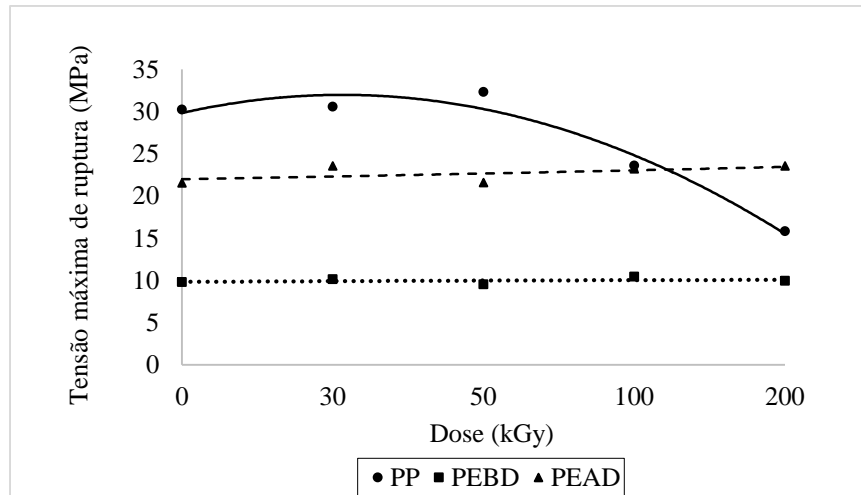


Gráfico 2 – Variação da tensão máxima dos polímeros puros PP, PEBD e PEAD.

No Gráfico 2 é possível observar o a cisão de cadeia para o PP a partir de uma dose de 50kGy e uma curva contínua para o PEBD e PEAD.

4.1.1.2 Ensaio de resistência à tração em blendas PP/PEBD

Os resultados da modelagem estatística, para as blendas PP/PEBD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 16 mostra os valores médios da tensão máxima de ruptura das blendas PP/PEBD obtidos para diferentes concentrações dos componentes e doses de radiação.

Tabela 16 – Blenda PP/PEBD: Valor médio da tensão máxima e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.

Dose	0kGy		30kGy		50kGy		100kGy		200kGy	
Blenda PP/PEBD (%)	Tensão máx. (Mpa)	DP (Mpa)	Tensão máx. (Mpa)	DP (Mpa)	Tensão máx. (Mpa)	DP (Mpa)	Tensão máx. (Mpa)	DP (Mpa)	Tensão máx. (Mpa)	DP (Mpa)
10/90	10,4	0,9	10,0	0,3	10,7	0,4	10,9	0,3	10,8	0,1
20/80	9,1	1,7	11,8	0,2	11,0	0,1	11,7	0,3	12,1	0,1
30/70	12,3	2,7	13,1	0,2	15,6	0,7	16,4	2,5	14,6	0,2
40/60	13,5	3,2	14,9	0,3	16,5	0,8	16,3	0,4	15,9	0,3
50/50	16,2	1,7	18,7	0,8	19,9	0,6	19,1	1,2	5,1	1,9
60/40	15,9	4,4	20,1	1,9	20,8	0,9	21,0	0,5	17,0	0,5
70/30	22,6	0,5	23,4	0,3	24,2	0,8	23,8	0,3	19,4	0,8
80/20	26,2	0,5	27,2	0,4	27,0	0,2	17,7	0,7	16,0	2,9
90/10	28,9	0,8	29,1	0,5	28,9	0,3	23,2	5,4	17,0	3,4

Obs. Experimento realizado com 5 réplicas.

b) Análise de Variância – 2 FATORES

Pela ANOVA foram investigados os efeitos dos 9 níveis do fator ConcPEBD e dos 5 níveis do fator Dose. O experimento para cada um desses níveis foi executado com mesmo número de réplicas e o resultado da ANOVA *Two-Way*, estão descritos na Tabela 17.

Tabela 17 – ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEBD.

Tensão Máxima de Ruptura versus ConcPEBD; Dose.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
ConcPEBD	8	5599,92	699,99	307,10	0,000
Dose	4	699,74	174,93	76,75	0,000
Interação	32	1546,76	48,34	21,21	0,000
Erro	180	410,28	2,28		
TOTAL	224	8256,70			

Observa-se, pela Tabela 17, que existe evidências em nível de significância estatística de $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$) de que os fatores influenciaram na propriedade (Tensão Máxima de Ruptura) das blendas PP/PEBD.

Os efeitos e interação dos fatores podem ser visualizados nos Gráficos 3a e 3b.

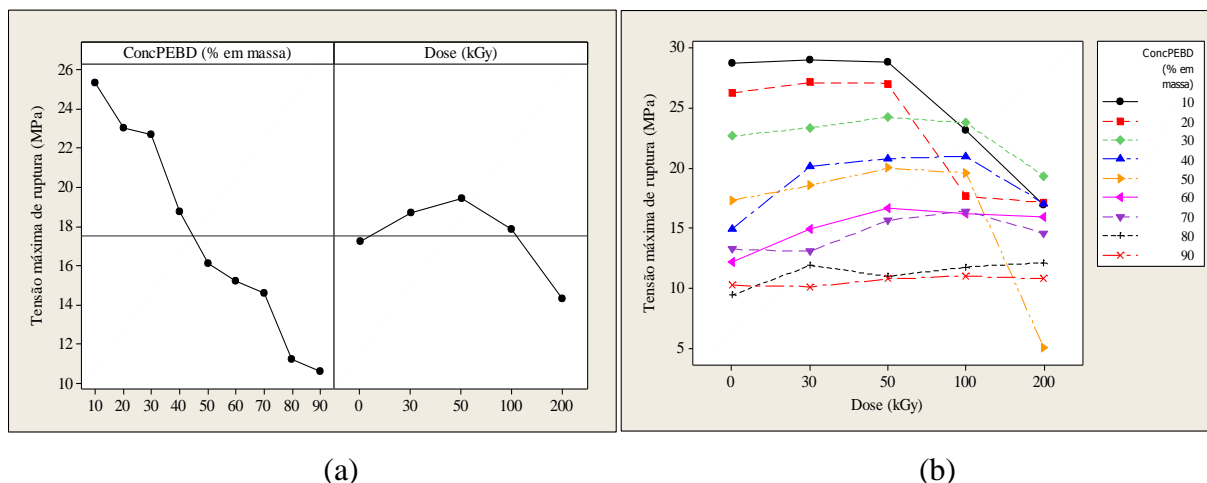


Gráfico 3 – (a) Efeitos dos fatores principais na tensão máxima das blendas PP/PEBD. (b) Efeitos da interação dos fatores na tensão máxima das blendas PP/PEBD.

O Gráfico 3 mostra que a concentração foi responsável por mudanças gradativas nas blendas e a radiação γ reduziu o grau de cristalinidade das blendas com intensidade maior que 50kGy, reduzindo o módulo da resistência a tensão.

Assim como para Spadaro; Rizzo; Acierno e Calderaro (1984), o aumento da radiação reduziu o módulo da resistência à tração. Isso, segundo os mesmos, ocorre devido as propriedades físico-químicas dos polímeros. A radiação produz uma redução do grau de cristalinidade e esses efeitos normalmente estão localizados nas regiões entre as fases cristalinas e amorfas. Assim como o módulo de elasticidade de um polímero semicristalino é fortemente influenciado pelas propriedades das regiões de contorno, um leve decréscimo da cristalinidade pode causar a diminuição observada dos módulos.

c) Método de Duncan

Para identificar se houve diferença entre as médias, comparou-se as médias duas a duas pelo teste de Duncan. De modo análogo a análise realizada com os polímeros puros, a Tabela 18 mostra as diferenças dos pares das médias dos tratamentos das blendas PP/PEBD, através de grupos nomeados como A, B, C e D.

Tabela 18 – Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEBD (% em massa). Ensaio de Tração.

PP/PEBD (%)	10/90			20/80			30/70		
Dose (kGy)	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste Duncan	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste Duncan	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste Duncan
0	10,4	8,7	A	9,1	18,7	A	12,3	22,0	A B
30	10,0	3,0	A	11,8	1,7	C	13,1	1,5	A
50	10,7	3,7	A B	11,0	0,9	B	15,6	4,5	B C
100	10,9	2,8	B	11,7	2,6	B C	16,4	15,2	C
200	10,8	0,9	A B	12,1	0,8	C	14,6	1,4	A B C
PP/PEBD (%)	40/60			50/50			60/40		
Dose (kGy)	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan
0	13,5	23,7	A	16,2	10,5	B	15,9	2,2	A
30	14,9	2,0	B	18,7	4,3	B C	20,1	1,3	B
50	16,5	4,8	C	19,9	3,0	C	20,8	3,3	B
100	16,3	2,5	B C	19,1	6,3	C	21,0	1,3	B
200	15,9	1,9	B C	5,1	37,3	A	17,0	4,1	A
PP/PEBD (%)	70/30			80/20			90/10		
Dose (kGy)	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan
0	22,6	2,2	B	26,2	1,9	B	28,9	2,8	C
30	23,4	1,3	B C	27,2	1,5	B	29,1	1,7	C
50	24,2	3,3	D	27,0	0,7	B	28,9	1,0	C
100	23,8	1,3	C D	17,7	4,0	A	23,2	23,3	B
200	19,4	4,1	A	16,0	2,9	A	17,0	20,0	A

Obs.: Experimentos realizado com mesmo número de réplicas ($n = 5$). Estatisticamente significativo para $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$).

Os grupos diferentes indicam que os fatores Dose e Concentração foram significativos para causarem algum tipo de modificação na resistência do material.

Observa-se, que as blendas não irradiadas aumentaram a resistência alterando a concentração. As blendas irradiadas, também, sofreram um aumento na resistência a tensão máxima de ruptura, porém, de forma individual, isto é, 30kGy aumentou apenas a propriedade das blendas PP/PE: 20/80 e 50/50. Para as demais blendas, outra dose foi causadora do aumento.

d) Análise Fatorial 2^k

A análise Fatorial 2² foi realizada para certificar a qualidade e confiabilidade dos resultados do experimento em estudo, uma vez que não houve conformidade destes. Com esse método uma tendência dos efeitos dos fatores foi verificada através de dois níveis, escolhidos aleatoriamente. A Tabela 19 mostra de modo simplificado o modelo Fatorial 2², realizado computacionalmente pelo MINITAB, para as blendas PP/PEBD.

Tabela 19 – Análise Fatorial 2² para as blendas PP/PEBD: Ensaio de tração.

Ensaio	Coleta de Dados			Experimento Fatorial 2 ²		
	FATOR Y (% PEBD)	FATOR Z (Dose)	RESPOSTA (Tensão máx.)	FATOR Y (% PEBD)	FATOR Z (Dose)	Interação [Y x Z]
1	20	30	27,2	-	-	+
2	80	30	11,8	+	-	-
3	20	200	16,0	-	+	-
4	80	200	12,1	+	+	+
			$\Sigma'^{-}/2$	21,6	19,5	13,9
			$\Sigma'^{+}/2$	11,95	14,05	19,65
			Efeito	-9,65	-5,45	+5,75

A Tabela 19 mostra, portanto, que ao aumentar a concentração de PEBD (FATOR Y) de um produto com 20% de ConcPEBD e 80% de ConcPP para um produto com 80% de ConcPEBD e 20% de ConcPP, a tensão máxima reduziu em 9,65MPa. Da mesma forma, quando a dose de radiação (FATOR Z) foi alterada de 30kGy para 200kGy, a tensão máxima reduziu em 5,45 MPa. O efeito combinado do aumento da ConcPEBD (com a redução da ConcPP) e aumento de dose é de 5,75MPa. Graficamente, têm-se:

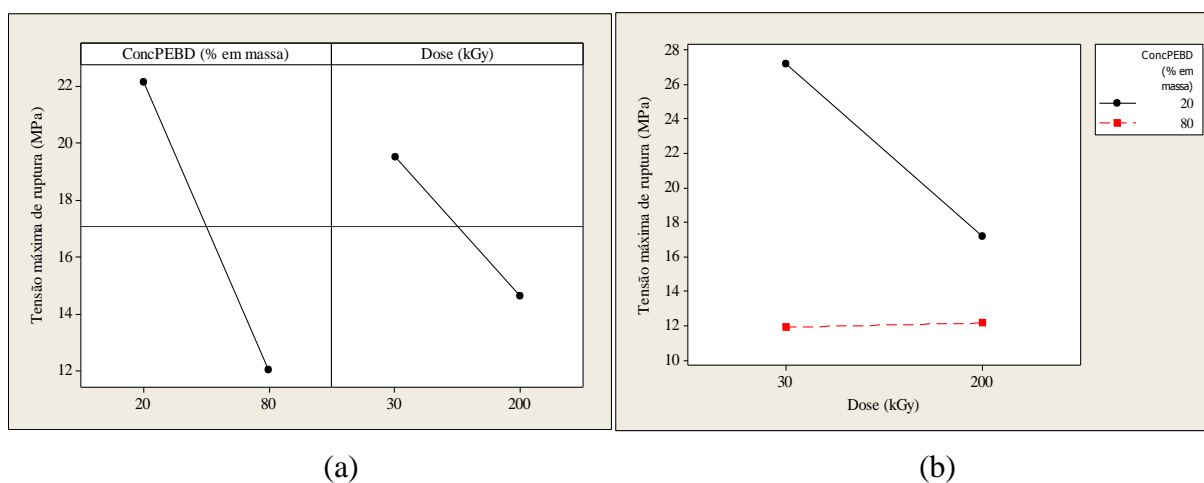


Gráfico 4 – (a) Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEBD e Dose) na tensão máxima de ruptura para as blendas PP/PEBD. (b) Representação da interação dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a tensão máxima de ruptura das blendas PP/PEBD.

Para verificar se os efeitos e a interação dos fatores são devido ao acaso ou se são estatisticamente significantes, utilizou-se do delineamento de experimento para a análise fatorial 2^k para $k = 2$ fatores. Os resultados são mostrados na Tabela 20.

Tabela 20 – ANOVA: Fatorial 2^2 para a blenda PP/PEBD: Ensaio de tração.

Fonte de Variação	Graus Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
Efeitos Principais	2	632,645	316,323	201,67	0,000
ConcPEBD	1	513,085	513,085	327,12	0,000
Dose	1	119,561	119,561	76,23	0,000
Interações 2^2	1	131,584	131,584	83,89	0,000
ConcPEBD*Dose	1	131,584	131,584	83,89	0,000
Erro Residual	16	25,096	1,569		
Total	19	789,326			

Obs. Experimento realizado com 5 réplicas.

A probabilidade de significância (p-valor) indica que existe evidências em nível de significância estatística de $\alpha = 5\%$, isso significa que o teste mostrou confiabilidade de 95%.

O gráfico de contorno ou ABACO dessa tendência pode ser observado abaixo.

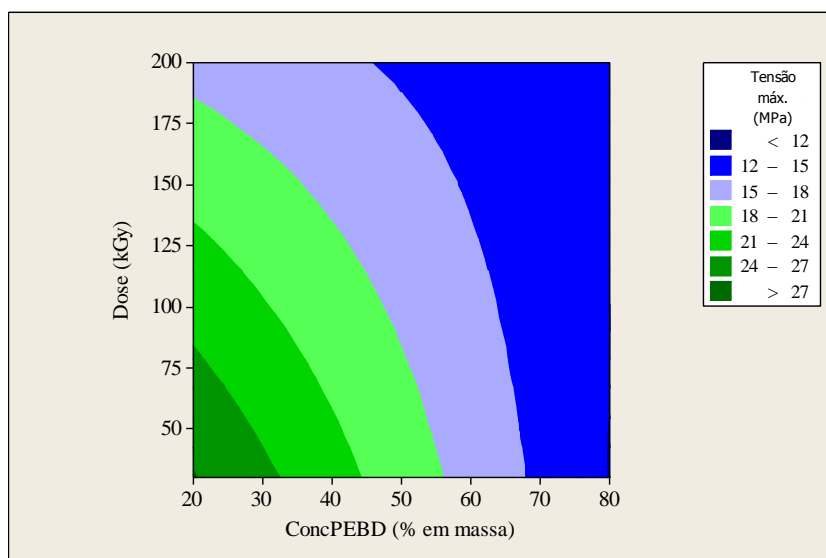


Gráfico 5 – Contorno da tensão máxima de ruptura versus Dose e ConcPEBD.

O ABACO mostra as curvas limitantes da propriedade tensão máxima de ruptura, pelo qual, pode-se planejar uma interação dos fatores para desenvolver uma blenda com uma resistência desejada.

4.1.1.3 Ensaios de resistência à tração em blendas PP/PEAD

Análogo ao estudo das blendas PP/PEBD, os resultados da modelagem estatística, para as blendas PP/PEAD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 21 mostra os valores médios da tensão máxima de ruptura das blendas PP/PEAD obtidos para diferentes concentrações dos componentes e doses de radiação.

Tabela 21 – Blenda PP/PEAD: Valor médio da tensão máxima de ruptura e dos respectivos desvio padrão para a blenda polimérica não-irradiada e irradiada a diferentes doses.

Dose	0kGy		30kGy		50kGy		100kGy		200kGy	
	PP/PEAD (%)	Tensão máx. (MPa)	DP (MPa)	Tensão máx. (MPa)	DP (MPa)	Tensão máx. (MPa)	DP (MPa)	Tensão máx. (MPa)	DP (MPa)	Tensão máx. (MPa)	DP (MPa)
10/90	22,7	0,2	23,4	0,3	24,8	0,2	24,9	0,3	25,3	0,4
20/80	23,7	0,3	25,0	0,6	26,1	0,7	25,7	0,5	20,2	2,6
30/70	26,4	1,2	26,7	1,2	27,7	0,4	26,4	3,1	18,9	1,5
40/60	27,0	0,2	29,7	0,2	28,6	1,1	22,0	0,6	18,6	1,6
50/50	28,9	0,5	31,3	0,5	25,6	2,4	21,2	1,2	17,0	2,1
60/40	29,0	0,4	31,8	0,8	29,7	2,5	22,1	1,8	14,3	1,5
70/30	31,1	0,6	33,5	0,4	32,6	0,6	22,2	1,8	12,3	2,9
80/20	31,1	0,6	32,9	0,3	27,8	5,9	17,5	3,1	9,8	1,3
90/10	31,8	0,9	33,3	2,2	24,8	0,5	15,8	1,8	13,3	0,3

Obs.: Experimento realizado com 6 réplicas.

b) Análise de Variância – 2 FATORES

Pela ANOVA foram investigados os efeitos dos 9 níveis do fator ConcPEAD e dos 5 níveis do fator Dose. O experimento para cada um desses níveis foi executado com mesmo número de réplicas e o resultado da ANOVA *Two-Way*, estão descritos na Tabela 22.

Tabela 22: ANOVA com 2 Fatores para blendas PP/PEAD.

Tensão Máxima versus ConcPEAD; Dose.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
ConcPEAD	8	193,60	24,20	9,59	0,000
Dose	4	6347,80	1586,96	628,98	0,000
ConcPEAD*Dose	32	3003,10	93,85	37,20	0,000
Erro	225	567,70	2,52		
TOTAL	269	10112,20			

Observa-se, pela Tabela 22, que existe evidências em nível de significância estatística de 5% ($p \leq 0,05$) de que os fatores influenciaram na propriedade (tensão máxima de ruptura) das blendas PP/PEAD.

Os efeitos e interação dos fatores podem ser visualizados nos Gráficos 6a e 6b.

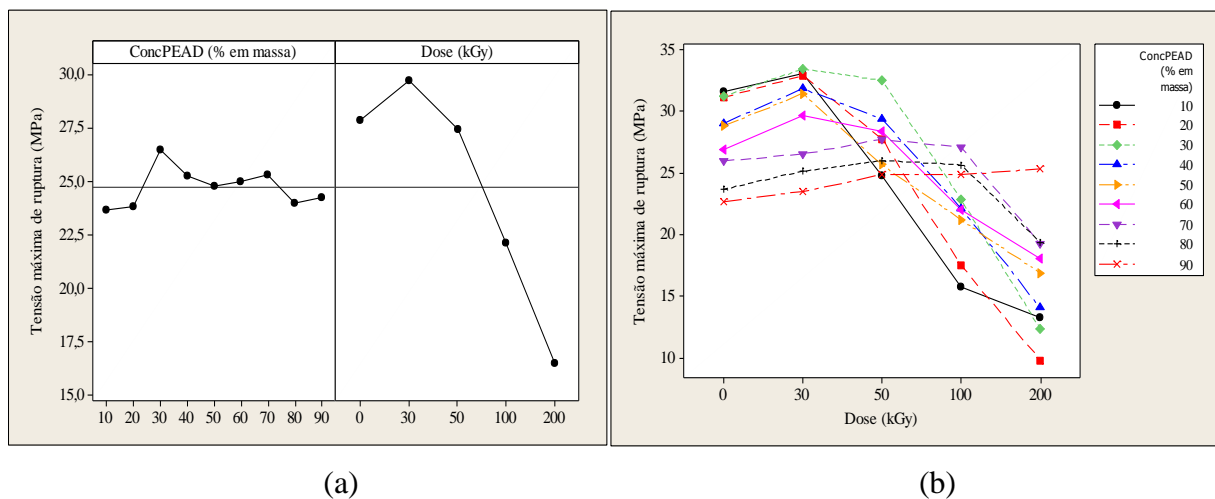


Gráfico 6 – (a) Efeitos dos fatores principais na tensão máxima das blendas PP/PEAD. (b) Efeitos de interação dos fatores na tensão máxima das blendas PP/PEAD.

O Gráfico 6 mostra uma instabilidade das blendas em relação a concentração. Diferente dos resultados apresentados por Teh; Blom e Rudin (1994), o qual obtiveram propriedade máxima nas blendas com composição de PEAD entre 5 e 15%.

A radiação provocou uma diminuição no módulo da resistência assim como ocorreu nas blendas PP/PEBD.

c) Método de Duncan

De modo análogo a análise realizada com os polímeros puros e com as blendas PP/PEBD, a Tabela 23 mostra as diferenças dos pares das médias dos tratamentos das blendas PP/PEAD, através de grupos nomeados como A, B, C, D e E.

Tabela 23 – Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEAD (% em massa): Ensaio de tração.

PP/PEAD (%)	10/90			20/80			30/70		
Dose (kGy)	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste Duncan	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste Duncan	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste Duncan
0	22,7	0,9	A	23,7	1,3	B	26,4	4,5	B
30	23,4	1,3	B	25,0	2,4	C	26,7	4,5	B
50	24,8	0,8	C	26,1	2,7	C	27,7	1,4	B
100	24,9	1,2	C	25,7	1,9	C	26,4	11,7	B
200	25,3	1,6	D	20,2	12,9	A	18,9	7,9	A
PP/PEAD (%)	40/60			50/50			60/40		
Dose (kGy)	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan
0	27,0	0,7	C	28,9	1,7	D	29,0	1,8	C
30	29,7	0,7	E	31,3	1,6	E	31,8	1,2	D
50	28,6	3,8	D	25,6	9,4	C	29,7	1,8	C
100	22,0	2,7	B	21,2	6,1	B	22,1	8,1	B
200	18,6	8,6	A	17,0	12,6	A	14,3	30,9	A
PP/PEAD (%)	70/30			80/20			90/10		
Dose (kGy)	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan	Tensão máx. (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan
0	31,1	1,8	C	31,1	1,9	C D	31,8	2,8	D
30	33,5	1,2	D	32,9	0,9	D	33,3	6,9	D
50	32,6	1,8	C D	27,8	21,2	C	24,8	2,0	C
100	22,2	8,1	B	17,5	17,7	B	15,8	11,4	B
200	12,3	30,9	A	9,8	13,3	A	13,3	2,3	A

Obs.: Experimentos realizado com mesmo número de réplicas ($n = 5$). Estatisticamente significativa para $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$).

A concentração alterou positivamente a resistência à tração nas blendas não irradiadas. Observa-se que a dose melhorou significativamente a propriedade de forma individual para cada blendas PP/PEAD.

d) Análise Fatorial 2^k

Para certificar a qualidade e confiabilidade dos resultados do experimento, realizou-se a análise Fatorial 2². A Tabela 24 mostra de modo simplificado o modelo para as blendas PP/PEAD. A escolha dos pares de tratamentos foram aleatórias.

Tabela 24 – Análise Fatorial 2² para blendas PP/PEAD: Ensaio de tração.

Ensaio	Coleta de Dados			Experimento Fatorial 2 ²		
	FATOR W (ConcPEAD)	FATOR Z (Dose)	RESPOSTA (Tensão máx.)	FATOR W (ConcPEAD)	FATOR Z (Dose)	Interação [Y x Z]
1	20	30	32,9	-	-	+
2	80	30	25,0	+	-	-
3	20	200	9,8	-	+	-
4	80	200	20,2	+	+	+
			$\Sigma^{-'}/2$	21,35	28,95	17,40
			$\Sigma^{+'}/2$	22,60	15,00	26,55
			Efeito	+1,25	-13,95	+9,15

Nota-se, portanto, que ao aumentar a concentração de PEBD (FATOR W) de um produto com 20% de ConcPEAD e 80% de ConcPP para um produto com 80% de ConcPEAD e 20% de ConcPP, a tensão máxima aumentou em 1,25MPa. Por outro lado, quando a dose de radiação (FATOR Z) foi alterada de 30kGy para 200kGy, a tensão máxima reduziu em 13,95MPa. O efeito combinado do aumento da ConcPEAD (com a redução da ConcPP) e aumento de dose foi de 9,15MPa. Graficamente, têm-se:

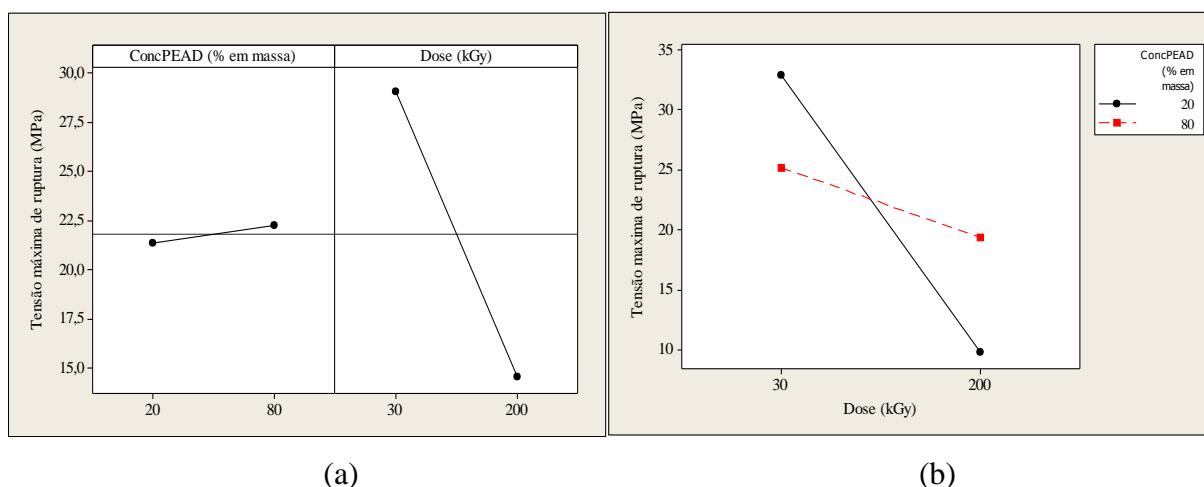


Gráfico 7 – (a) Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEAD e Dose) na tensão máxima de ruptura para as blendas PP/PEAD. (b) Representação da interação dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a tensão máxima de ruptura das blendas PP/PEAD.

O resultado obtido reflete o mostrado no método da ANOVA. Erros experimentais podem estar incluídos nos ensaios. A instabilidade e sugere novos teste e análises.

Os valores obtidos foram analisados computacionalmente pela análise fatorial 2^k . Os resultados são mostrados na Tabela 25.

Tabela 25 – ANOVA: Fatorial 2^2 para a blenda PP/PEAD: Ensaio de tração.

Fonte de Variação	Graus Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
Efeitos Principais	2	1.258,60	629,30	560,53	0,000
ConcPEAD	1	4,91	4,91	4,38	0,049
Dose	1	1.253,68	1.253,68	1.116,69	0,000
Interações 2^2	1	451,88	451,88	402,50	0,000
ConcPEAD*Dose	1	451,88	451,88	402,50	0,000
Erro Residual	20	22,45	1,12		
Total	23	1.732,93			

Obs. Experimento realizado com 6 réplicas.

A probabilidade de significância (p-valor) indica que existe evidências em nível de significância estatística de $\alpha = 5\%$, isso significa que o teste mostrou confiabilidade de 95%.

O gráfico de contorno ou ABACO pode ser observado abaixo.

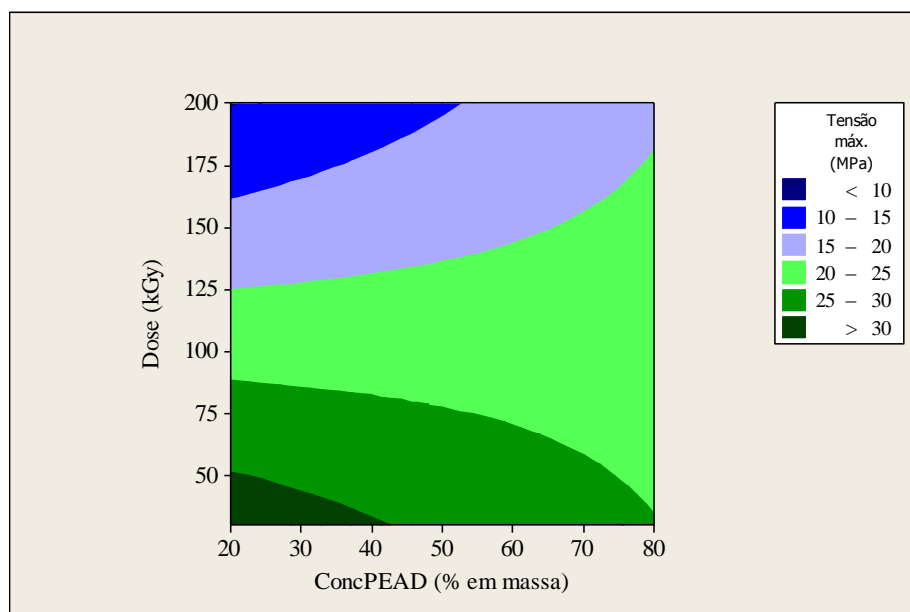


Gráfico 8 – Contorno da tensão máxima de ruptura versus Dose e ConcPEAD.

Observa-se, que o efeito da concentração aparentemente foi quase constante, como previsto na ANOVA. O pouco efeito das diferentes concentrações implica na baixa compatibilidade dos componentes. A interação dos fatores aumentou discretamente a resistência da tensão das blendas com concentrações dos componentes equilibradas.

4.1.2 Resistência à flexão

A resistência à flexão foi avaliada para verificar os efeitos dos fatores: concentração e dose nas blendas PP/PE. Os valores obtidos para os polímeros puros PP, PEBD e PEAD referências para as discussões.

4.1.2.1 Ensaio de resistência à flexão em polímeros puros

Os resultados da modelagem estatística, para os polímeros puros PP, PEBD e PEAD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 26 mostra os valores médio da resistência de flexão obtidos, para os polímeros puros PP, PEBD e PEAD, nas diferentes doses, e seus respectivos desvios padrão (DP).

Tabela 26 – Polímeros Puros PP, PEBD e PEAD: Valores médios da resistência de flexão e dos respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiadas e irradiadas.

Dose	0kGy		30kGy		50kGy		100kGy		200kGy	
	Resist. de Flexão (MPa)	DP (MPa)	Resist. de Flexão (MPa)	DP (MPa)	Resist. de Flexão (MPa)	DP (MPa)	Resist. de Flexão (MPa)	DP (MPa)	Resist. de Flexão (MPa)	DP (MPa)
PP	32,5	1,1	32,9	0,7	35,3	0,5	33,6	4,8	26,4	4,2
PEBD	5,1	0,2	6,5	0,1	6,4	0,3	5,9	0,1	6,3	0,3
PEAD	17,8	0,6	18,9	1,0	20,1	1,6	17,2	0,6	18,7	0,8

Obs: Ensaios realizados com 5 réplicas ($n = 5$).

b) Análise de Variância – FATOR ÚNICO

Pela ANOVA foram investigados os efeitos dos 5 níveis do fator (ou 5 tratamentos). O experimento para cada um desses níveis foi executado 5 vezes e o resultado da ANOVA para os polímeros PP, PEBD e PEAD, estão descritos na Tabela 27, Tabela 28 e Tabela 29, respectivamente.

Tabela 27 – ANOVA Fator único para PP puro: Ensaio de flexão.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	195,55	48,89	6,34	0,002
Residual	20	154,28	7,71		
Total	24	349,83			

Tabela 28 – ANOVA Fator único para PEBD puro: Ensaio de flexão.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	6,03	1,51	36,24	0,000
Residual	20	0,83	0,04		
Total	24	6,86			

Tabela 29 – ANOVA Fator único para PEAD puro: Ensaio de flexão.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	24,53	6,13	6,27	0,002
Residual	20	19,56	0,98		
Total	24	44,09			

O teste “F” mostra que existe diferenças entre os tratamentos no nível de significância estatística $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$). Resta saber qual ou quais são diferentes, para isso, foi aplicado o teste de Duncan conforme mostram as tabelas seguintes.

c) Método de Duncan

As Tabela 30, Tabela 31 e Tabela 32 mostram os resultados do teste de Duncan para o PP, PEBD e PEAD, respectivamente, através de grupos identificados como A, B e C.

Tabela 30 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PP puro: Ensaio de flexão.

Dose (kGy)	PP (100%)				
	n	Resist.de Flexão (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Teste Duncan
0	5	32,5	1,1	0,03	B
30	5	32,9	0,7	0,02	B
50	5	35,3	0,5	0,01	B
100	5	33,6	4,8	0,14	B
200	5	26,4	4,2	0,16	A

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Para o PP observa-se que a dose na ordem de 200kGy reduziu a resistência de flexão do PP, pressupondo também, a cisão de cadeia em doses maiores. Doses abaixo de 100kGy apresentaram resultados equivalentes ao PP não irradiado, indicando que o intervalo escolhido não foi suficiente para causar mudanças significativas no PP.

Tabela 31 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEBD puro: Ensaio de flexão.

Dose (kGy)	PEBD (100%)				
	n	Resist.de Flexão (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Teste Duncan
0	5	5,1	0,2	0,04	A
30	5	6,5	0,1	0,02	C
50	5	6,4	0,3	0,05	C
100	5	5,9	0,1	0,02	B
200	5	6,3	0,3	0,05	C

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Para o PEBD observa-se que doses entre 30kGy e 200kGy foram equivalentes, entretanto, aumentaram a resistência de flexão do polímero não irradiado em 27%.

Tabela 32 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEAD puro: Ensaio de flexão.

Dose (kGy)	PEAD (100%)				
	n	Resist.de Flexão (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Teste Duncan
0	5	17,8	0,6	0,03	A B
30	5	18,9	1	0,05	B C
50	5	20,1	1,6	0,08	C
100	5	17,2	0,6	0,03	A
200	5	18,7	0,8	0,04	B C

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Para o PEAD observa-se uma instabilidade dos resultados para essa doses. Isso implica que a radiação foi insignificante para este polímero.

Graficamente, as variações das resistências de flexão quando os polímeros puros são submetidos às diferentes doses, são mostradas no Gráfico 9.

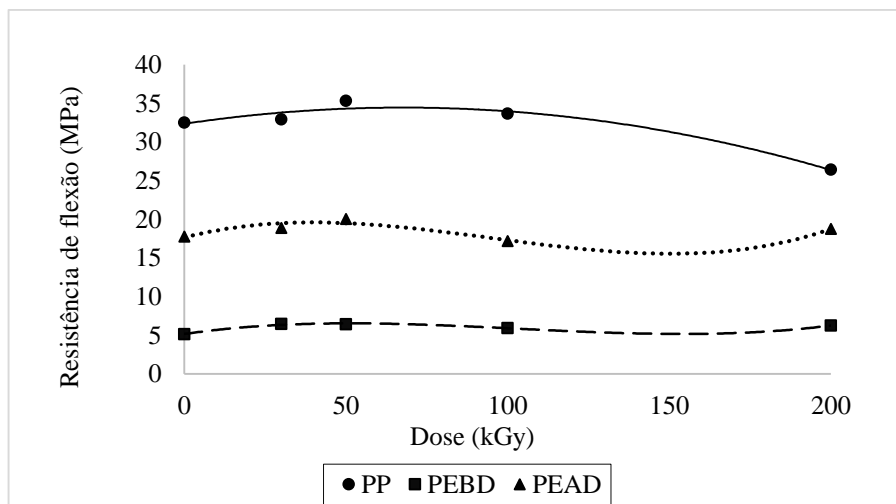


Gráfico 9 – Variação da resistência de flexão dos polímeros puros PP, PEBD e PEAD.

4.1.2.2 Ensaio de resistência à flexão em blendas PP/PEBD

Os resultados da modelagem estatística, para as blendas PP/PEBD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 33 mostra os valores médios da resistência de flexão das blendas PP/PEBD obtidos para diferentes concentrações dos componentes e doses de radiação.

Tabela 33 – Blenda PP/PEBD: Valor médio da resistência de flexão e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.

Dose	0kGy		30kGy		50kGy		100kGy		200kGy	
Blenda PP/PEBD (%)	Resist. de Flexão (MPa)	DP (Mpa)	Resist. de Flexão (MPa)	DP (Mpa)	Resist. de Flexão (MPa)	DP (Mpa)	Resist. de Flexão (MPa)	DP (Mpa)	Resist. de Flexão (MPa)	DP (Mpa)
10/90	6,9	0,4	6,6	0,8	8,0	0,1	7,5	0,1	7,2	0,3
20/80	9,0	0,3	8,8	0,1	10,0	0,1	9,9	0,1	9,9	0,6
30/70	11,8	0,2	10,4	0,3	13,2	0,3	12,2	0,2	12,1	0,2
40/60	13,8	4,3	12,8	0,6	16,0	0,4	14,5	0,3	14,4	0,2
50/50	17,6	0,2	21,1	0,3	19,6	0,4	18,4	0,4	17,3	0,8
60/40	19,3	0,6	22,9	1,1	21,6	0,3	21,9	1,9	18,3	1,5
70/30	23,7	0,3	27,4	0,2	26,1	0,6	24,8	0,5	21,4	2,6
80/20	25,1	0,3	28,9	0,3	27,9	1,4	26,7	0,8	26,0	0,5
90/10	28,1	0,4	33,2	0,3	30,8	1,1	29,7	0,5	28,7	0,3

Obs. Experimento realizado com 5 réplicas ($n = 5$).

b) Análise de Variância – 2 FATORES

Pela ANOVA investigou os efeitos dos 9 níveis do fator ConcPEBD e dos 5 níveis do fator Dose. O experimento para cada um desses níveis foi executado com mesmo número de réplicas e o resultado para cada fator, inclusive suas interações, estão descritos na Tabela 34.

Tabela 34 – ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEBD.

Resistência de Flexão versus ConcPEBD; Dose.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
ConcPEBD	8	12.873,40	1.609,18	3.143,88	0,000
Dose	4	168,40	42,11	82,26	0,000
Interação	32	248,50	7,76	15,17	0,000
Erro	180	92,10	0,51		
TOTAL	224	13.382,50			

Observa-se, na Tabela 34, que existe evidências em nível de significância estatística de 95% de que os fatores influenciaram na propriedade (resistência de flexão) das blendas PP/PEBD, pois, $p \leq 0,05$. Os efeitos e interação dos fatores podem ser visualizados nos Gráficos 10a e 10b.

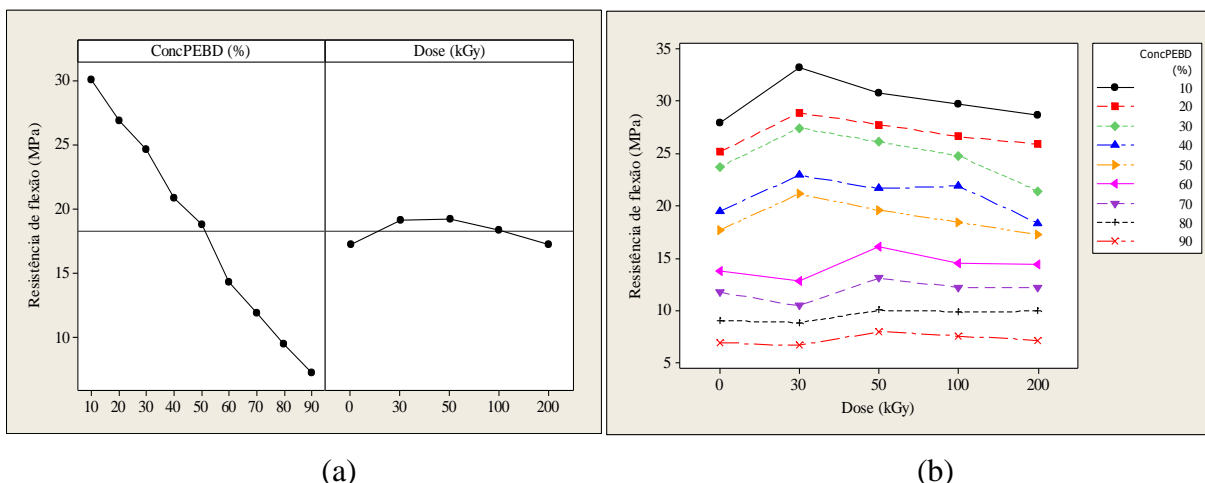


Gráfico 10 – (a) Efeitos dos fatores principais na resistência de flexão das blendas PP/PEBD.
(b) Efeitos da interação dos fatores na resistência de flexão das blendas PP/PEBD.

c) Método de Duncan

Pelo teste de Duncan identificou as diferenças entre as médias. De modo análogo a análise realizada com os polímeros puros, a Tabela 35 mostra as diferenças dos pares das médias dos tratamentos das blendas PP/PEBD, através de grupos nomeados como A, B, C e D.

Tabela 35 – Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEBD (% em massa): Ensaio de flexão.

PP/PEBD (%)	10/90			20/80			30/70		
	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste Duncan	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste Duncan	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste Duncan
Dose (kGy)									
0	6,9	0,06	A	9,0	0,03	A	11,8	0,02	B
30	6,6	0,12	A	8,8	0,01	A	10,4	0,03	A
50	8,0	0,01	C	10,0	0,01	B	13,2	0,02	D
100	7,5	0,01	B C	9,9	0,01	B	12,2	0,02	C
200	7,2	0,04	A B	9,9	0,06	B	12,1	0,02	C

Tabela 35 (Continuação) – Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEBD (% em massa): Ensaio de flexão.

PP/PEBD (%)	40/60			50/50			60/40		
Dose (kGy)	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan
0	13,8	0,28	B	17,6	0,01	A	19,3	0,03	A
30	12,8	0,05	A	21,1	0,01	D	22,9	0,05	B
50	16,0	0,03	D	19,6	0,02	C	21,6	0,01	B
100	14,5	0,02	C	18,4	0,02	B	21,9	0,09	B
200	14,4	0,01	C	17,3	0,05	A	18,3	0,08	A
PP/PEBD (%)	70/30			80/20			90/10		
Dose (kGy)	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan
0	23,7	0,01	B	25,1	0,01	A	28,1	0,01	A
30	27,4	0,01	D	28,9	0,01	D	33,2	0,01	D
50	26,1	0,02	C D	27,9	0,05	C	30,8	0,04	C
100	24,8	0,02	B C	26,7	0,03	B	29,7	0,02	B
200	21,4	0,12	A	26,0	0,02	A B	28,7	0,01	A

Obs.: Experimentos realizado com mesmo número de réplicas ($n = 5$). Estatisticamente significativo para $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$).

Observa-se que as diferentes doses provocaram alterações nas blendas PP/PEBD. Doses na ordem de 50kGy aumentaram gradativamente a resistência de flexão das blendas 10/90, 20/80, 30/70 e 40/60. Predominando a reticulação do PEBD.

Para as blendas 50/50, 60/40, 70/30, 80/20 e 90/10 foi suficiente uma dose de 30kGy para provocar um aumento significativo na resistência de flexão.

Nota-se que quanto maior a concentração de PP na mistura melhor tende a ser a resistência de flexão da blenda.

d) Análise Fatorial 2^k

A análise Fatorial 2^2 possibilitou determinar as faixas da resistência de flexão para todas as interações dos fatores. A Tabela 36 mostra de modo simplificado o modelo Fatorial 2^2 , para as blendas PP/PEBD com escolha aleatória dos pares de tratamentos.

Tabela 36 – Análise Fatorial 2² para as blendas PP/PEBD: Ensaio de flexão.

Ensaio	Coleta de Dados			Experimento Fatorial 2 ²		
	FATOR Y (% PEBD)	FATOR Z (Dose)	RESPOSTA (Resit.Flexão)	FATOR Y (% PEBD)	FATOR Z (Dose)	Interação [Y x Z]
1	20	30	28,90	-	-	+
2	80	30	8,82	+	-	-
3	20	200	25,88	-	+	-
4	80	200	9,92	+	+	+
			$\Sigma'^{-}/2$	27,39	18,86	17,35
			$\Sigma'^{+}/2$	9,37	17,90	19,41
			Efeito	-18,02	-0,96	+2,06

Observa-se, portanto, que ao aumentar a concentração de PEBD (FATOR Y) de um produto com 20% de ConcPEBD e 80% de ConcPP para um produto com 80% de ConcPEBD e 20% de ConcPP, a resistência de flexão reduziu em 18,02 MPa. Da mesma forma, quando a dose de radiação (FATOR Z) foi alterada de 30kGy para 200kGy, a resistência de flexão reduziu em 0,96MPa. O efeito combinado do aumento da ConcPEBD (com a redução da ConcPP) e aumento de dose foi de 2,06MPa. Graficamente, têm-se:

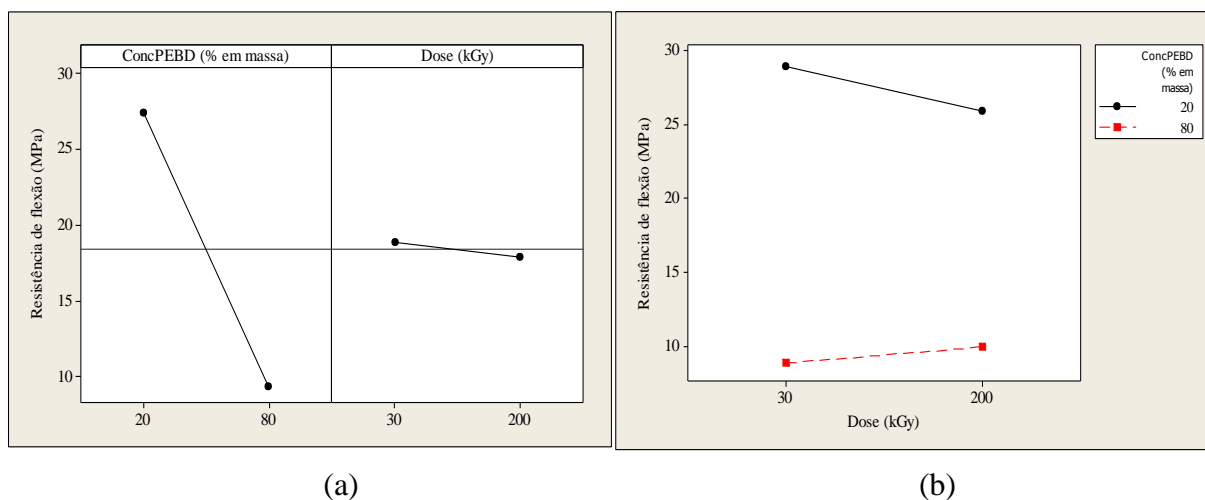


Gráfico 11 – (a) Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEBD e Dose) na resistência de flexão para as blendas PP/PEBD. (b) Representação da interação dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a resistência de flexão das blendas PP/PEBD.

Para verificar se os efeitos e a interação dos fatores são devido ao acaso ou se são estatisticamente significantes, utilizou-se do delineamento de experimento para a análise fatorial 2^k para k = 2 fatores. Os resultados são mostrados na Tabela 37.

Tabela 37 – ANOVA: Fatorial 2² para a blenda PP/PEBD – Ensaio de flexão.

Fonte de Variação	Graus Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
Efeitos Principais	2	1.628,21	814,10	4.712,62	0,000
ConcPEBD	1	1.623,60	1.623,60	9.398,56	0,000
Dose	1	4,61	4,61	26,67	0,000
Interações 2 ²	1	21,22	21,22	122,82	0,000
ConcPEBD*Dose	1	21,22	21,22	122,82	0,000
Erro Residual	16	2,76	0,17		
Total	19	1.652,19			

Obs. Experimento realizado com 5 réplicas.

A ANOVA informa que os fatores e suas interações foram estatisticamente significante ($p \leq 0,05$), isto é, os fatores Dose, Concentração e a relação entre ele provocaram alterações significativas na propriedade das blendas PP/PEBD.

O gráfico de contorno ou ABACO pode ser observado abaixo.

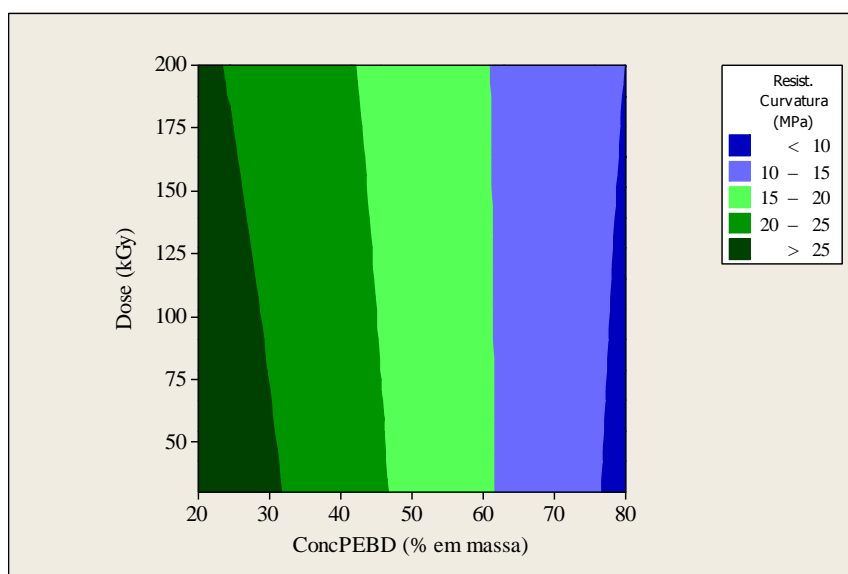


Gráfico 12 – Contorno da resistência de flexão versus Dose e ConcPEBD.

Através do ABACO observa-se que doses menores implicam em uma maior resistência de flexão e quanto maior a concentrações de PP na blenda maior será esta propriedade.

4.1.2.3 Ensaio de resistência à flexão em blendas PP/PEAD

Os resultados da modelagem estatística, para as blendas PP/PEAD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 38 mostra os valores médios da resistência de flexão das blendas PP/PEAD obtidos para diferentes concentrações dos componentes e doses de radiação.

Tabela 38 – Blenda PP/PEAD: Valor médio da resistência de flexão e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.

Dose	0 kGy		30 kGy		50 kGy		100 kGy		200 kGy	
Blenda PP/PEAD (%)	Resist. de Flexão (MPa)	DP (MPa)	Resist. de Flexão (MPa)	DP (MPa)	Resist. de Flexão (MPa)	DP (MPa)	Resist. de Flexão (MPa)	DP (MPa)	Resist. de Flexão (MPa)	DP (MPa)
10/90	20,2	0,4	21,3	1,2	82,2	2,7	22,9	0,5	22,5	0,4
20/80	22,5	0,3	24,5	0,5	88,8	4,3	25,0	0,3	23,6	0,9
30/70	23,7	0,6	26,6	0,2	97,6	5,9	24,7	0,9	22,7	1,5
40/60	26,4	0,7	28,8	0,5	110,4	3,3	28,3	0,6	23,7	0,8
50/50	27,7	0,8	31,4	0,3	29,4	0,5	116,3	1,5	23,6	1,6
60/40	30,9	0,5	33,3	0,7	31,7	0,5	125,0	4,0	21,4	1,0
70/30	33,3	0,9	35,3	0,6	34,6	0,5	28,3	1,7	18,6	1,9
80/20	33,1	1,4	35,1	1,0	27,9	1,4	28,1	2,0	14,3	1,3
90/10	33,5	1,0	34,8	0,3	33,8	1,5	21,0	3,0	14,2	2,5

Obs. Experimento realizado com 5 réplicas ($n = 5$).

b) Análise de Variância – 2 FATORES

Pela ANOVA investigou os efeitos dos 9 níveis do fator ConcPEAD e dos 5 níveis do fator Dose. O experimento para cada um desses níveis foi executado com mesmo número de réplicas e o resultado para cada fator, inclusive suas interações, estão descritos na Tabela 39.

Tabela 39 – ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEAD.

Resistência de Flexão versus ConcPEAD; Dose.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
ConcPEAD	8	12.173,0	1.521,6	503,79	0,000
Dose	4	45.415,0	11.353,7	3.758,98	0,000
Interação	32	108.241,0	3.382,5	1.119,89	0,000
Erro	180	544,0	3,0		
TOTAL	224	166.373,0			

Observa-se, na Tabela 39, que existe evidências em nível de significância estatística de 95% de que os fatores influenciaram na propriedade (resistência de flexão) das blendas PP/PEAD, pois, $p \leq 0,05$.

Os efeitos e interação dos fatores podem ser visualizados nos Gráficos 13a e 13b.

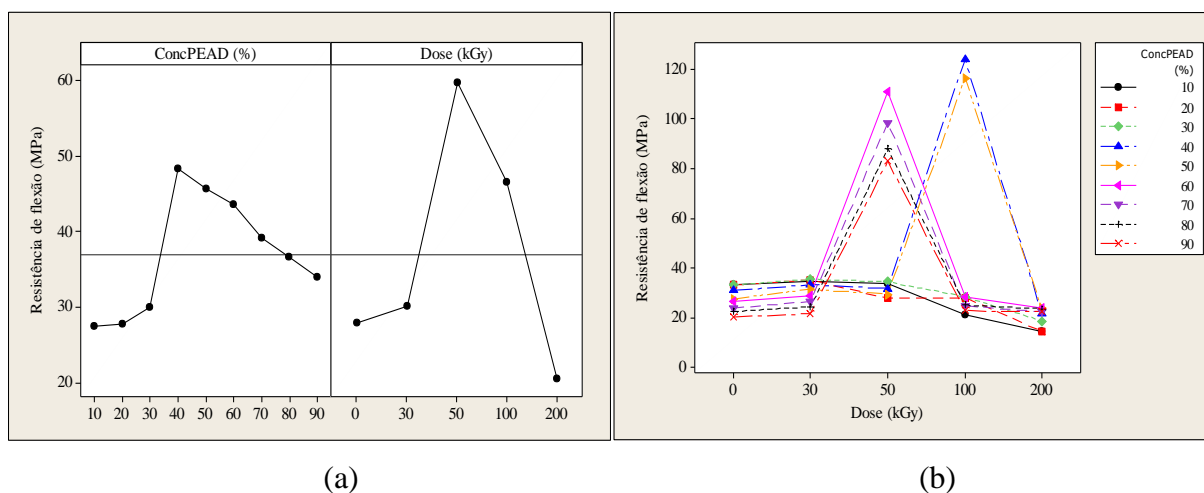


Gráfico 13 – (a) Efeitos dos fatores principais na resistência de flexão das blendas PP/PEAD.

(b) Efeitos da interação dos fatores na resistência de flexão das blendas PP/PEAD.

Observa-se picos fora da proporção lógica dos resultados apresentados. Erros experimentais tais quais: equipamentos mau calibrados, manuseio errado do operador podem estar inseridos nos resultados.

c) **Método de Duncan**

De modo análogo as blendas PP/PEBD, aplicou-se o teste de Duncan para as blendas PP/PEAD. A Tabela 40 mostra as diferenças dos pares das médias dos tratamentos, através de grupos nomeados como A, B, C, D e E.

Tabela 40 – Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEAD (% em massa): Ensaio de flexão.

PP/PEAD (%)	10/90			20/80			30/70		
Dose (kGy)	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste Duncan	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste Duncan	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste Duncan
0	20,2	0,02	A	22,5	0,01	A	23,7	0,03	A B
30	21,3	0,06	A B	24,5	0,02	A	26,6	0,01	B
50	82,2	0,03	C	88,8	0,05	B	97,6	0,06	C
100	22,9	0,02	B	25,0	0,01	A	24,7	0,04	A B
200	22,5	0,02	B	23,6	0,04	A	22,7	0,07	A
PP/PEAD (%)	40/60			50/50			60/40		
Dose (kGy)	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan
0	26,4	0,03	B	27,7	0,03	B	30,9	0,02	B
30	28,8	0,02	C	31,4	0,01	D	33,3	0,02	B
50	110,4	0,03	D	29,4	0,02	C	31,7	0,02	B
100	28,3	0,02	B C	116,3	0,01	E	125,0	0,03	C
200	23,7	0,03	A	23,6	0,07	A	21,4	0,05	A
PP/PEAD (%)	70/30			80/20			90/10		
Dose (kGy)	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan	Resist.de Flexão (MPa)	CV (%)	Teste de Duncan
0	33,3	0,03	B	33,1	0,04	C	33,5	0,03	C
30	35,3	0,02	C	35,1	0,03	C	34,8	0,01	C
50	34,6	0,01	B C	27,9	0,05	C	33,8	0,04	C
100	28,3	0,06	A	28,1	0,07	B	21,0	0,14	B
200	-	-	-	14,3	0,09	A	14,2	0,18	A

Obs.: Experimentos realizado com mesmo número de réplicas ($n = 5$). Estatisticamente significativo para $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$).

Para essas misturas a dose de 50kGy provocou um grande aumento na resistência de flexão das blendas 10/90, 20/80, 30/70 e 40/60. A quantidade de PEAD da mistura indica que predominou a reticulação e compatibilidade dos componentes nesta dose, apesar dos possíveis erros experimentais observados no Gráfico 13b.

A dose de 30kGy foi eficiente para elevar a resistência de flexão das blendas 50/50 e 70/30.

Para as blendas 60/40, 80/20 e 90/10 doses acima de 100kGy reduziu a resistência de flexão. Doses inferiores foram insignificantes nesses blendas.

d) Análise Fatorial 2^k

Foi realizado a análise Fatorial 2² para determinar as faixas da resistência de flexão das blendas PP/PEAD. A Tabela 41 mostra de modo simplificado o modelo Fatorial 2², realizado computacionalmente. A escolha dos pares de tratamentos foram aleatórias.

Tabela 41 – Análise Fatorial 2² para as blendas PP/PEAD: Ensaio de flexão.

Coleta de Dados			Experimento Fatorial 2 ²			
Ensaio	FATOR W (% PEAD)	FATOR Z (Dose)	RESPOSTA (Resit.Flexão)	FATOR W (% PEAD)	FATOR Z (Dose)	Interação [Y x Z]
1	20	30	35,10	-	-	+
2	80	30	24,38	+	-	-
3	20	200	14,34	-	+	-
4	80	200	23,54	+	+	+
			Σ ⁻ /2	24,72	29,74	19,36
			Σ ⁺ /2	23,96	18,94	29,32
			Efeito	-0,76	-10,80	+9,96

Observa-se, portanto, que ao aumentar a concentração de PEAD (FATOR W) de um produto com 20% de ConcPEAD e 80% de ConcPP para um produto com 80% de ConcPEAD e 20% de ConcPP, a resistência de flexão reduziu em 0,76MPa. Da mesma forma, se a dose de radiação (FATOR Z) for alterada de 30kGy para 200kGy, a resistência de flexão reduz em 10,80MPa. O efeito combinado do aumento da ConcPEAD (com a redução da ConcPP) e aumento de dose é de 9,96MPa. Graficamente, têm-se:

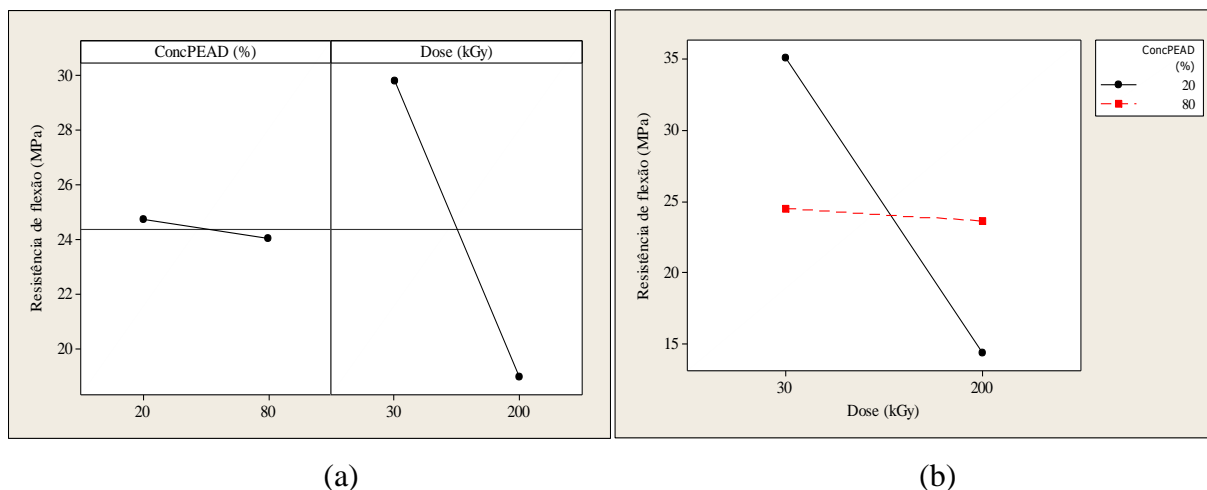


Gráfico 14 – (a) Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEAD e Dose) na resistência de flexão para as blendas PP/PEAD. (b) Representação da interação dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a resistência de flexão das blendas PP/PEAD.

Para verificar se os efeitos e a interação dos fatores são devido ao acaso ou se são estatisticamente significantes, utilizou-se do delineamento de experimento para a análise fatorial 2^k para $k = 2$ fatores. Os resultados são mostrados na Tabela 42.

Tabela 42 – ANOVA: Fatorial 2^2 para a blenda PP/PEAD – Ensaio de flexão.

Fonte de Variação	Graus Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
Efeitos Principais	2	589,71	294,85	348,42	0,000
ConcPEAD	1	2,18	2,18	2,57	0,128
Dose	1	587,53	587,53	694,27	0,000
Interações 2^2	1	492,03	492,03	581,43	0,000
ConcPEAD*Dose	1	492,03	492,03	581,43	0,000
Erro Residual	16	13,54	0,846		
Total	19	1.095,28			

Obs. Experimento realizado com 5 réplicas.

A ANOVA informa que os fatores e suas interações foram estatisticamente significantes ($p \leq 0,05$), isto é, os fatores Dose, Concentração e a interação entre influenciaram na propriedade das blendas PP/PEAD.

O gráfico de contorno ou ABACO pode ser observado abaixo.

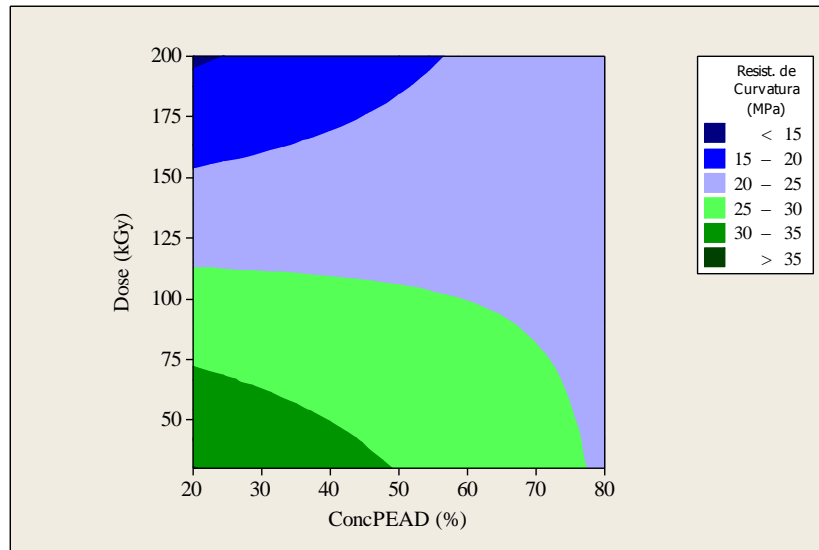


Gráfico 15 – Contorno da resistência de flexão versus Dose e ConcPEAD.

Observa-se, que doses menores implicam em uma maior resistência de flexão e quanto maior a concentrações de PEAD na blenda maior será está propriedade.

4.1.3 Resistência ao impacto Izod

Verificou os resultados do ensaio de resistência ao impacto Izod pela energia em função da área. Os polímeros puros PP, PEBD e PEAD foram referências para a visualização dos efeitos nas blendas PP/PE.

4.1.3.1 Ensaio de resistência ao impacto em polímeros puros

Os resultados da modelagem estatística, para os polímeros puros PP, PEBD e PEAD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 43 mostra os valores médio da energia em função da área obtidos, para os polímeros puros PP, PEBD e PEAD, nas diferentes doses, e seus respectivos desvios padrão (DP).

Tabela 43 – Polímeros Puros PP, PEBD e PEAD: Valores médios da energia em função da área e dos respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiadas e irradiadas.

Dose	0kGy		30kGy		50kGy		100kGy		200kGy	
Polímeros	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (kJ/m ²)	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (kJ/m ²)	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (kJ/m ²)	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (kJ/m ²)	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (kJ/m ²)
PP	1,5	0,7	1,8	0,1	1,8	0,1	1,6	0,3	0,9	0,1
PEBD	29,6	6,9	28,4	7,5	32,9	8,9	29,4	5,1	30,9	10,4
PEAD	7,2	0,6	6,3	0,2	6,2	0,4	6,4	0,3	8,5	4,4

Obs: Ensaios realizados com 11 réplicas ($n = 11$).

b) Análise de Variância – FATOR ÚNICO

Pela ANOVA foram investigados os efeitos dos 5 níveis do fator (ou 5 tratamentos). O experimento para cada um desses níveis foi executado 11 vezes e o resultado da ANOVA para os polímeros PP, PEBD e PEAD, estão descritos na Tabela 44, Tabela 45 e Tabela 46, respectivamente.

Tabela 44 – ANOVA Fator único para PP puro: Ensaio de impacto.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	6,45	1,61	16,87	0,000
Residual	50	4,78	0,10		
Total	54	11,23			

Tabela 45 – ANOVA Fator único para PEBD puro: Ensaio de impacto.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	128,4	32,1	0,54	0,710
Residual	50	2994,2	59,9		
Total	54	3122,6			

Tabela 46 – ANOVA Fator único para PEAD puro: Ensaio de impacto.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	49,14	12,29	2,80	0,036
Residual	50	219,71	4,39		
Total	54	268,85			

O teste “F” mostra que existe diferenças entre os tratamentos no nível de significância estatística $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$) apenas para o PP e PEAD. Para o PEBD o teste indica que não houve diferença entre as diferentes doses aplicadas no polímero ($p > 0,05$).

Nos polímeros em a diferença dos tratamentos foi significantes resta saber qual ou quais foram diferentes, para isso, foi aplicado o teste de Duncan conforme mostram as tabelas seguintes.

c) Método de Duncan

A Tabela 47, Tabela 48 e Tabela 49 mostram os resultados do teste de Duncan para o PP, PEBD e PEAD, respectivamente, através de grupos nomeados como A, B e C.

Tabela 47 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PP puro: Ensaio de Impacto.

Dose (kGy)	PP (100%)				
	<i>n</i>	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (MPa)	CV (%)	Teste Duncan
0	11	1,5	0,7	0,47	B
30	11	1,8	0,1	0,06	C
50	11	1,8	0,1	0,06	C
100	11	1,6	0,3	0,19	B C
200	11	0,9	0,1	0,11	A

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Para o PP observa-se que a doses entre 30 kGy e 100kGy proporcionaram um aumento na resistência ao impacto de 20% em relação ao polímero não irradiado.

Tabela 48 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEBD puro: Ensaio de Impacto.

Dose (kGy)	PEBD (100%)				
	<i>n</i>	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (MPa)	CV (%)	Teste Duncan
0	11	29,6	6,9	0,23	A
30	11	28,4	7,5	0,26	A
50	11	32,9	8,9	0,27	A
100	11	29,4	5,1	0,17	A
200	11	30,9	10,4	0,34	A

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Como concluído na tabela da ANOVA, para o PEBD não houve diferença significativa dos diferentes tratamentos (doses) propostos. O teste de Duncan comprova esse resultado, avaliando o mesmo grupo em todas as doses.

Tabela 49 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEAD puro: Ensaio de Impacto.

Dose (kGy)	PEAD (100%)				
	n	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (MPa)	CV (%)	Teste Duncan
0	11	7,2	0,6	0,08	A B
30	11	6,3	0,2	0,03	A
50	11	6,2	0,4	0,06	A
100	11	6,4	0,3	0,05	A
200	11	8,5	4,4	0,52	B

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Para o PEAD, a dose não influenciou significativamente a propriedade do material, pois, pelo teste de Duncan houve equivalência das médias.

Graficamente, as variações das energias em função da área quando os polímeros puros são submetidos às diferentes doses, são mostradas no Gráfico 24.

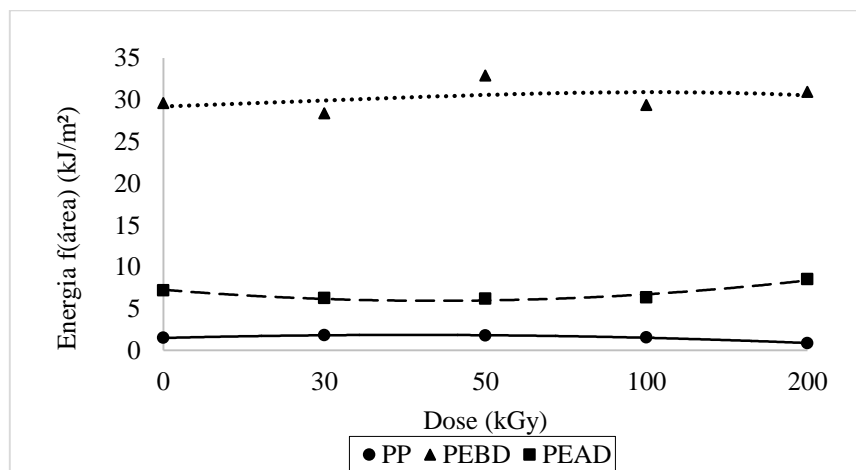


Gráfico 16 – Variação das energias dos polímeros puros PP, PEBD e PEAD.

4.1.3.2 Ensaio de resistência ao impacto em blendas PP/PEBD

Os resultados da modelagem estatística, para as blendas PP/PEBD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 50 mostra os valores médios da energia de impacto em função da área das blendas PP/PEBD obtidos para diferentes concentrações dos componentes e doses de radiação.

Tabela 50 – Blenda PP/PEBD: Valor médio da energia em função da área e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.

Dose	0 kGy		30 kGy		50 kGy		100 kGy		200 kGy	
Blenda PP/PEBD (%)	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (kJ/m ²)	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (kJ/m ²)	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (kJ/m ²)	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (kJ/m ²)	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (kJ/m ²)
10/90	27,2	8,9	39,2	8,1	36,0	9,9	36,7	7,8	38,7	7,8
20/80	16,8	1,6	18,5	1,6	22,3	2,0	21,3	2,1	33,2	7,9
30/70	5,3	3,1	7,0	7,0	6,8	2,1	9,6	0,7	6,8	3,4
40/60	1,8	0,4	1,7	0,1	1,7	0,1	1,9	0,6	2,2	0,6
50/50	1,5	0,1	1,4	0,1	1,4	0,1	1,4	0,2	2,0	0,4
60/40	1,3	0,1	1,2	0,2	1,2	0,4	1,6	0,3	1,7	0,2
70/30	1,3	0,2	1,4	0,4	1,3	0,4	1,7	0,1	1,4	1,8
80/20	1,7	0,1	1,6	0,3	1,3	0,4	1,6	0,3	0,8	0,1
90/10	2,8	2,5	1,7	0,5	1,5	0,2	1,7	0,1	0,9	0,2

Obs. Experimento realizado com 11 réplicas ($n = 11$).

b) Análise de Variância – 2 FATORES

Pela ANOVA investigou os efeitos dos 9 níveis do fator ConcPEBD e dos 5 níveis do fator Dose. O experimento para cada um desses níveis foi executado com mesmo número de réplicas e o resultado para cada fator, inclusive suas interações, estão descritos na Tabela 51.

Tabela 51 – ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEBD.
Energia f(área) versus ConcPEBD; Dose.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
ConcPEBD	8	66.806,40	8.350,80	773,37	0,000
Dose	4	484,90	121,23	11,23	0,000
Interação	32	2.484,10	77,63	7,19	0,000
Erro	450	74.634,50	10,80		
TOTAL	494				

Observa-se, na Tabela 51, que existe evidências em nível de significância estatística de 95% de que os fatores influenciaram na propriedade (resistência de curvatura) das blendas PP/PEBD, pois, $p \leq 0,05$.

Os efeitos e interação dos fatores podem ser visualizados nos Gráficos 17a e 17b.

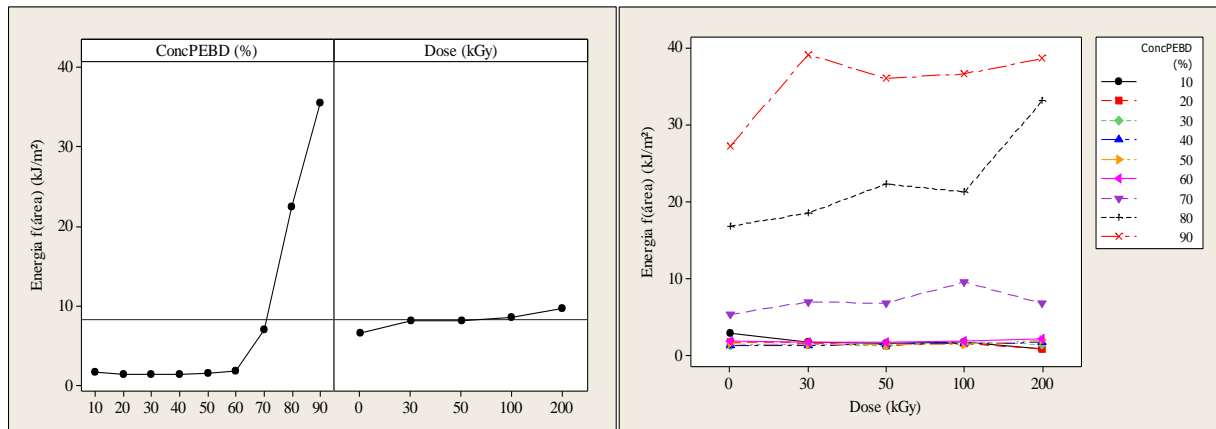


Gráfico 17 – (a) Efeitos dos fatores principais na energia de impacto das blendas PP/PEBD.

(b) Efeitos da interação dos fatores na energia de impacto das blendas PP/PEBD.

c) Método de Duncan

A Tabela 52 mostra as diferenças dos pares das médias dos tratamentos das blendas PP/PEBD, através de grupos nomeados como A, B, C e D.

Tabela 52 – Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEBD (% em massa): Ensaio de impacto.

PP/PEBD (%)	10/90			20/80			30/70		
	Energia f(área) (kJ/m²)	CV (%)	Teste Duncan	Energia f(área) (kJ/m²)	CV (%)	Teste Duncan	Energia f(área) (kJ/m²)	CV (%)	Teste Duncan
Dose (kGy)									
0	27,2	0,33	A	16,8	0,10	A	5,3	0,58	A
30	39,2	0,21	B	18,5	0,09	A B	7,0	1,00	A
50	36,0	0,28	B	22,3	0,09	C	6,8	0,31	A
100	36,7	0,21	B	21,3	0,10	B C	9,6	0,07	B
200	38,7	0,20	B	33,2	0,24	D	6,8	0,50	A

Tabela 52 (Continuação) – Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEBD (% em massa): Ensaio de impacto.

PP/PEBD (%)	40/60			50/50			60/40		
Dose (kGy)	Energia f(área) (kJ/m ²)	CV (%)	Teste de Duncan	Energia f(área) (kJ/m ²)	CV (%)	Teste de Duncan	Energia f(área) (kJ/m ²)	CV (%)	Teste de Duncan
0	1,8	0,22	A	1,5	0,07	A	1,3	0,08	A
30	1,7	0,06	A	1,4	0,07	A	1,2	0,17	A
50	1,7	0,06	A	1,4	0,07	A	1,2	0,33	A B
100	1,9	0,32	A B	1,4	0,14	A	1,6	0,19	B
200	2,2	0,27	B	2,0	0,20	B	1,7	0,12	B
PP/PEBD (%)	70/30			80/20			90/10		
Dose (kGy)	Energia f(área) (kJ/m ²)	CV (%)	Teste de Duncan	Energia f(área) (kJ/m ²)	CV (%)	Teste de Duncan	Energia f(área) (kJ/m ²)	CV (%)	Teste de Duncan
0	1,3	0,15	A	1,7	0,06	C	2,8	0,89	B
30	1,4	0,29	A	1,6	0,19	C	1,7	0,29	A
50	1,3	0,31	A	1,3	0,31	B	1,5	0,13	A
100	1,7	0,06	A	1,6	0,19	C	1,7	0,06	A
200	1,4	1,29	A	0,8	0,13	A	0,9	0,22	A

Obs.: Experimentos realizado com mesmo número de réplicas ($n = 11$). Estatisticamente significativa para $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$).

Nota-se nesses resultados que a radiação não teve grandes influencias para alterar a propriedade das blendas. Concentrações entre 70 e 90% em massa de PEBD na blenda resultou em um aumento significativo no material quando unido com as doses propostas.

d) Análise Fatorial 2^k

A Tabela 53 mostra de modo simplificado o modelo Fatorial 2².

Tabela 53 – Análise Fatorial 2² para as blendas PP/PEBD: Ensaio de Impacto.

Ensaio	Coleta de Dados			Experimento Fatorial 2 ²		
	FATOR Y (% PEBD)	FATOR Z (Dose)	RESPOSTA (Energia f(área))	FATOR Y (% PEBD)	FATOR Z (Dose)	Interação [Y x Z]
1	20	30	1,63	-	-	+
2	80	30	18,52	+	-	-
3	20	200	0,82	-	+	-
4	80	200	33,18	+	+	+
			$\Sigma^{-}/2$	1,22	10,07	9,67
			$\Sigma^{+}/2$	25,85	17,00	17,40
			Efeito	+24,63	+6,93	+7,73

Observa-se, portanto, que ao aumentar a concentração de PEBD (FATOR Y) de um produto com 20% de ConcPEBD e 80% de ConcPP para um produto com 80% de ConcPEBD e 20% de ConcPP, a energia de impacto aumentou em 24,63MPa. Da mesma forma, quando a dose de radiação (FATOR Z) for alterada de 30kGy para 200kGy, a energia de impacto aumentou em 6,93MPa. O efeito combinado do aumento da ConcPEBD (com a redução da ConcPP) e aumento de dose foi de 7,73MPa. Gráficamente, têm-se:

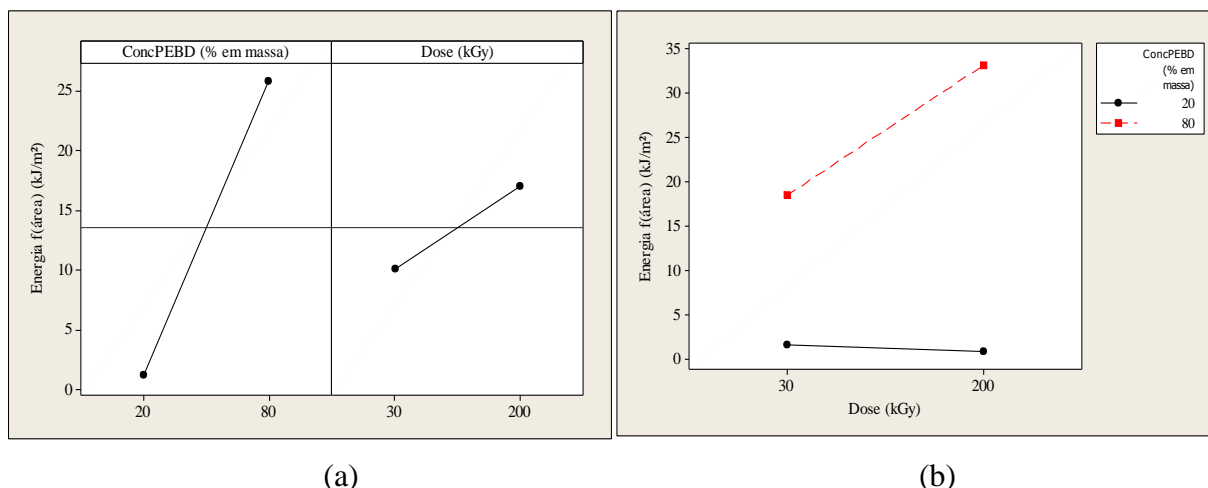


Gráfico 18 – (a) Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEBD e Dose) na energia de impacto em função da área para as blendas PP/PEBD. (b) Representação da interação dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a energia de impacto em função da área das blendas PP/PEBD.

Os resultados do delineamento de experimento da análise fatorial 2^k para $k = 2$ fatores, são mostrados na Tabela 54.

Tabela 54 – ANOVA: Fatorial 2^2 para a blenda PP/PEBD – Ensaio de Impacto.

Fonte de Variação	Graus Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
Efeitos Principais	2	7.197,06	3.598,53	218,81	0,000
ConcPEBD	1	6.669,05	6.669,05	405,52	0,000
Dose	1	528,01	528,01	32,11	0,000
Interações 2^2	1	657,29	657,29	39,97	0,000
ConcPEBD*Dose	1	657,29	657,29	39,97	0,000
Erro Residual	40	657,82	16,45		
Total	43	8.512,17			

Obs. Experimento realizado com 11 réplicas.

A ANOVA informa que os fatores e suas interações foram estatisticamente significante ($p \leq 0,05$), isto é, os fatores Dose, Concentração e a interação entre ele provocaram algum tipo de alteração na propriedade das blendas PP/PEBD.

O gráfico de contorno ou ABACO pode ser observado abaixo.

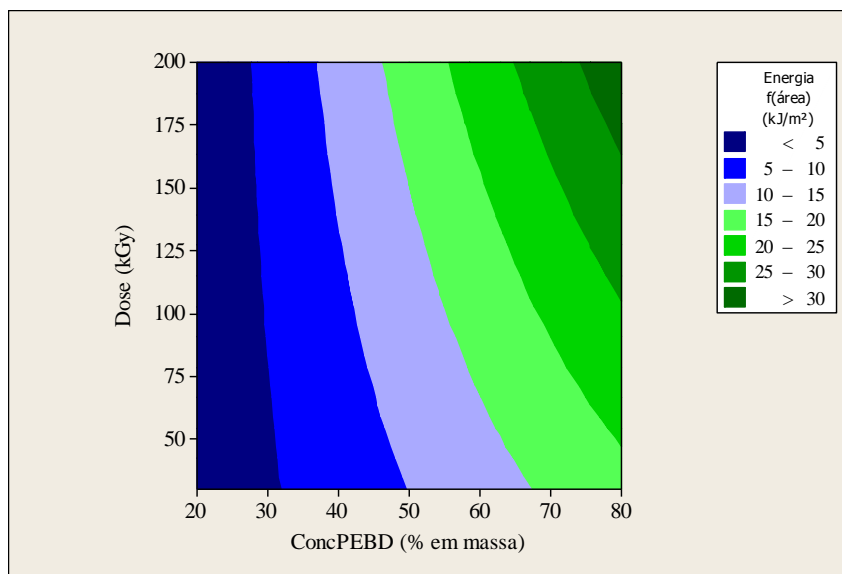


Gráfico 19 – Contorno da energia de impacto versus Dose e ConcPEBD.

Através do ABACO é possível analisar a faixa da resistência de curvatura desejada e a partir daí, estabelecer a dose e concentração dos componentes da blenda.

Observa-se, que doses maiores e concentrações elevadas de PEBD, aumentam a energia de impacto.

4.1.3.3 Ensaio de resistência ao impacto em blendas PP/PEAD

Os resultados da modelagem estatística, para as blendas PP/PEAD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 55 mostra os valores médios da energia em função da área das blendas PP/PEAD obtidos para diferentes concentrações dos componentes e doses de radiação.

Tabela 55 – Blenda PP/PEAD: Valor médio da energia de impacto em função da área e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.

Dose	0kGy		30kGy		50kGy		100kGy		200kGy	
Blenda PP/PEAD (%)	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (kJ/m ²)	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (kJ/m ²)	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (kJ/m ²)	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (kJ/m ²)	Energia f(área) (kJ/m ²)	DP (kJ/m ²)
10/90	4,1	0,2	3,0	0,2	2,8	0,2	2,9	0,2	3,4	0,2
20/80	2,6	0,3	2,0	0,4	2,3	0,4	2,4	0,2	2,6	0,7
30/70	2,5	0,2	2,2	0,2	2,0	0,1	1,8	0,4	1,9	0,3
40/60	2,5	0,2	2,0	0,1	1,8	0,1	1,9	0,1	0,8	0,5
50/50	2,1	0,2	1,8	0,1	1,8	0,1	1,8	0,1	0,8	0,3
60/40	1,8	0,1	1,8	0,1	1,6	0,2	1,6	0,4	0,7	0,1
70/30	1,7	0,1	1,8	0,0	1,1	0,3	1,2	0,4	0,8	0,1
80/20	1,7	0,1	1,5	0,6	1,0	0,4	0,9	0,3	0,8	0,1
90/10	1,9	0,1	1,4	0,4	1,2	0,3	0,8	0,1	0,9	0,1

Obs. Experimento realizado com 11 réplicas ($n = 11$).

b) Análise de Variância – 2 FATORES

Pela ANOVA investigou os efeitos dos 9 níveis do fator ConcPEAD e dos 5 níveis do fator Dose. O resultado para cada fator, inclusive suas interações, estão descritos na Tabela 56.

Tabela 56 – ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEAD.

Energia f(área) versus ConcPEAD; Dose.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
ConcPEAD	8	189,46	23,68	358,11	0,000
Dose	4	43,58	10,89	164,75	0,000
Interação	32	35,25	1,10	16,66	0,000
Erro	450	29,76	0,07		
TOTAL	494	298,05			

Observa-se, na Tabela 56, que existe evidências em nível de significância estatística de 95% de que os fatores influenciaram na propriedade (resistência de curvatura) das blendas PP/PEAD, pois, $p \leq 0,05$.

Os efeitos e interação dos fatores podem ser visualizados nos Gráficos 20a e 20b.

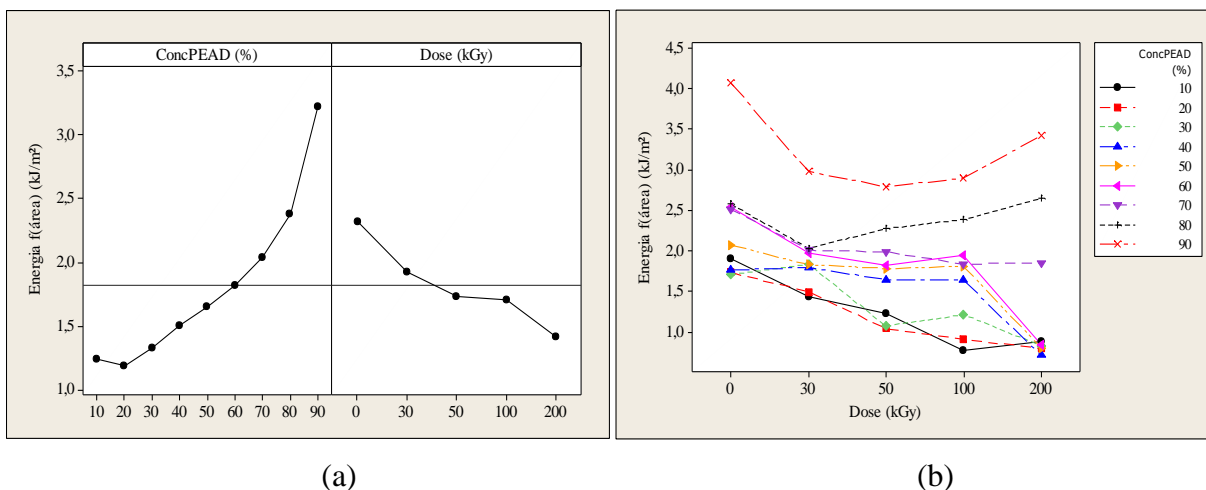


Gráfico 20 – (a) Efeitos dos fatores principais na energia de impacto das blendas PP/PEAD.
(b) Efeitos da interação dos fatores na energia de impacto das blendas PP/PEAD.

c) Método de Duncan

A Tabela 57 mostra as diferenças dos pares das médias dos tratamentos das blendas PP/PEAD, através de grupos nomeados como A, B, C e D.

Tabela 57 – Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEAD (% em massa): Ensaio de impacto.

PP/PEAD (%)	10/90			20/80			30/70		
Dose (kGy)	Energia f(área) (kJ/m²)	CV (%)	Teste Duncan	Energia f(área) (kJ/m²)	CV (%)	Teste Duncan	Energia f(área) (kJ/m²)	CV (%)	Teste Duncan
0	4,1	0,05	C	2,6	0,12	B	2,5	0,08	B
30	3,0	0,07	B	2,0	0,20	A	2,2	0,09	A
50	2,8	0,07	A	2,3	0,17	A B	2,0	0,05	A
100	2,9	0,07	A B	2,4	0,08	A B	1,8	0,22	A
200	3,4	0,06	C	2,6	0,27	B	1,9	0,16	A
PP/PEAD (%)	40/60			50/50			60/40		
Dose (kGy)	Energia f(área) (kJ/m²)	CV (%)	Teste de Duncan	Energia f(área) (kJ/m²)	CV (%)	Teste de Duncan	Energia f(área) (kJ/m²)	CV (%)	Teste de Duncan
0	2,5	0,08	C	2,1	0,10	C	1,8	0,06	B
30	2,0	0,05	B	1,8	0,06	B	1,8	0,06	B
50	1,8	0,06	B	1,8	0,06	B	1,6	0,13	B
100	1,9	0,05	B	1,8	0,06	B	1,6	0,25	B
200	0,8	0,63	A	0,8	0,38	A	0,7	0,14	A

Tabela 57 (Continuação) – Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEAD (% em massa): Ensaio de impacto.

PP/PEAD (%)	70/30			80/20			90/10		
Dose (kGy)	Energia f(área) (kJ/m ²)	CV (%)	Teste de Duncan	Energia f(área) (kJ/m ²)	CV (%)	Teste de Duncan	Energia f(área) (kJ/m ²)	CV (%)	Teste de Duncan
0	1,7	0,06	C	1,7	0,06	B	1,9	0,05	D
30	1,8	0,00	C	1,5	0,40	B	1,4	0,29	C
50	1,1	0,27	B	1,0	0,40	A	1,2	0,25	B
100	1,2	0,33	B	0,9	0,33	A	0,8	0,13	A
200	0,8	0,13	A	0,8	0,13	A	0,9	0,11	A

Obs.: Experimentos realizado com mesmo número de réplicas ($n = 11$). Estatisticamente significativo para $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$).

Pela Tabela 57, observa-se que as doses não foram fatores influentes no aumento da energia de impacto das blendas PP/PEAD. Para todas as blendas a radiação reduziu a propriedade inicial da blenda, fragilizando o material.

d) Análise Fatorial 2^k

Tabela 58 – Análise Fatorial 2² para as blendas PP/PEAD: Ensaio de Impacto.

Ensaio	Coleta de Dados			Experimento Fatorial 2 ²		
	FATOR W (% PEAD)	FATOR Z (Dose)	RESPOSTA (Energia f(área))	FATOR W (% PEAD)	FATOR Z (Dose)	Interação [W x Z]
1	20	30	1,46	-	-	+
2	80	30	2,03	+	-	-
3	20	200	0,79	-	+	-
4	80	200	2,65	+	+	+
			$\Sigma^{-}/2$	1,12	1,75	1,41
			$\Sigma^{+}/2$	2,34	1,72	2,06
			Efeito	+1,22	-0,03	+0,65

Observa-se, portanto, que ao aumentar a concentração de PEAD (FATOR W) de um produto com 20% de ConcPEAD e 80% de ConcPP para um produto com 80% de ConcPEAD e 20% de ConcPP, a energia de impacto aumentou em 1,22MPa. Por outro lado, quando a dose de radiação (FATOR Z) for alterada de 30kGy para 200kGy, a energia de impacto reduziu em 0,03MPa. O efeito combinado do aumento da ConcPEAD (com a redução da ConcPP) e aumento de dose foi de 0,65MPa. Graficamente, têm-se:

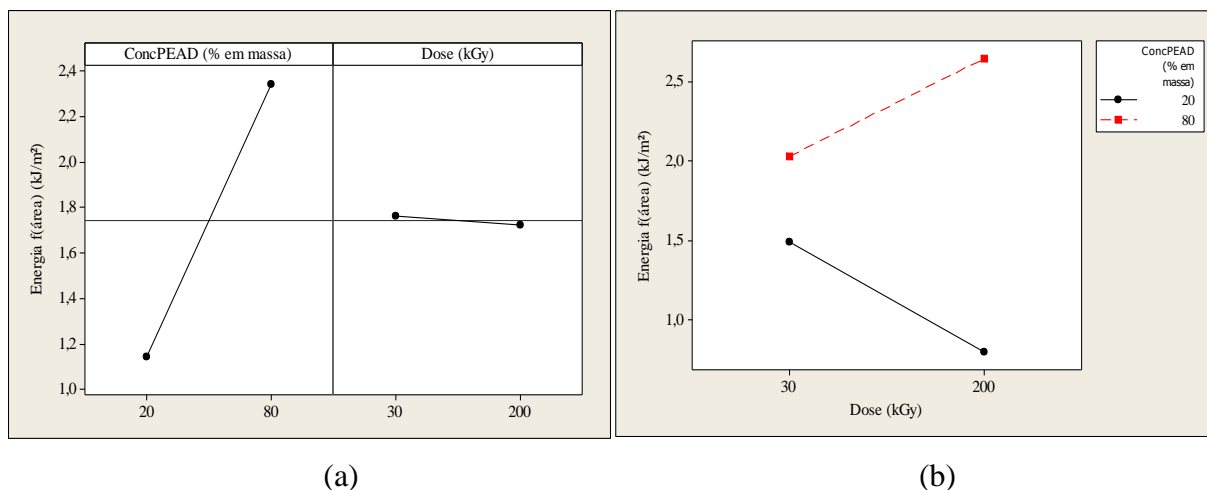


Gráfico 21 – (a) Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEAD e Dose) na energia de impacto em função da área para as blendas PP/PEAD. (b) Representação da interação dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a energia de impacto em função da área das blendas PP/PEAD.

Os resultados da análise fatorial 2^k para $k = 2$ fatores, estão mostrados na Tabela 59.

Tabela 59 – ANOVA: Fatorial 2^2 para a blenda PP/PEAD – Ensaio de Impacto.

Fonte de Variação	Graus Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
Efeitos Principais	2	15,76	7,88	35,20	0,000
ConcPEAD	1	15,74	15,74	70,33	0,000
Dose	1	0,017	0,017	0,08	0,784
Interações 2^2	1	4,76	4,76	21,29	0,000
ConcPEAD*Dose	1	4,76	4,76	21,29	0,000
Erro Residual	40	8,95	0,22		
Total	43	29,48			

Obs. Experimento realizado com 11 réplicas.

A ANOVA informa que os fatores e suas interações foram estatisticamente significante ($p \leq 0,05$), isto é, os fatores Dose, Concentração e a interação entre ele provocaram algum tipo de alteração na propriedade das blendas PP/PEAD.

O gráfico de contorno ou ABACO pode ser observado abaixo.

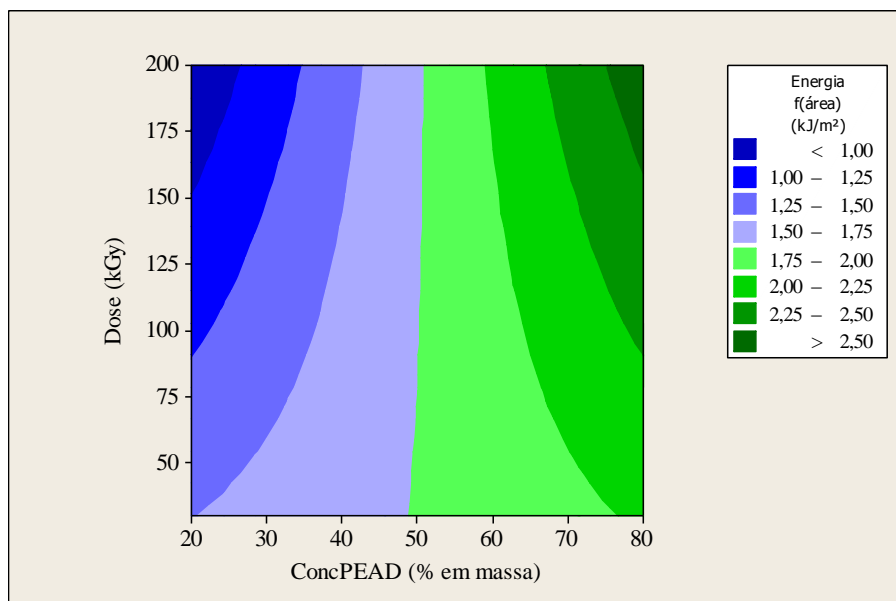


Gráfico 22 – Contorno da energia de impacto versus Dose e ConcPEAD.

Observa-se, que a energia de impacto foi praticamente constante em cada concentração de PEAD. Apresentando maior energia as blendas com maior concentração de PEAD.

4.1.4 Resistência à dureza Shore D

A seguir estão descritos os resultados obtidos para esse ensaio de dureza Shore D. Os polímeros puros PP, PEBD e PEAD foram referências para a visualização dos efeitos nas blendas.

4.1.4.1 Ensaio de resistência à dureza em polímeros puros

Os resultados dos ensaios de dureza para os polímeros puros PP, PEBD e PEAD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 60 mostra os valores médio da dureza obtidos, para os polímeros puros PP, PEBD e PEAD, nas diferentes doses, e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 60 – Polímeros Puros de PP, PEBD e PEAD: Valores médios da dureza e dos respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiadas e irradiadas.

Dose	0kGy		30kGy		50kGy		100kGy		200kGy	
Polímeros	Dureza Shore (ShD)	DP (ShD)	Dureza Shore (ShD)	DP (ShD)	Dureza Shore (ShD)	DP (ShD)	Dureza Shore (ShD)	DP (ShD)	Dureza Shore (ShD)	DP (ShD)
PP	65,5	0,7	69,8	1,2	71,1	0,5	69,6	1,1	71,0	0,7
PEBD	45,2	1,2	50,1	0,6	50,3	0,6	49,7	0,7	51,0	0,9
PEAD	56,7	1,0	61,5	2,0	59,2	4,5	61,8	2,1	60,8	0,6

Obs: Ensaios realizados com 5 réplicas ($n = 5$).

b) Análise de Variância – FATOR ÚNICO

Pela ANOVA foram investigados os efeitos dos 5 níveis do fator Dose. O experimento para cada um desses níveis foi executado 5 vezes ($n=5$) e o resultado da ANOVA para os polímeros PP, PEBD e PEAD, estão descritos na Tabela 61, Tabela 62 e Tabela 63, respectivamente.

Tabela 61 – ANOVA Fator único para PP puro: Ensaio de dureza.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	100,86	25,22	31,52	0,000
Erro	20	16,00	0,80		
Total	24	116,86			

Tabela 62 – ANOVA Fator único para PEBD puro: Ensaio de dureza.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	109,46	27,37	49,31	0,000
Erro	20	11,10	0,56		
Total	24	120,56			

Tabela 63 – ANOVA Fator único para PEAD puro: Ensaio de dureza.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	91,20	22,80	8,25	0,000
Erro	20	55,30	2,76		
Total	24	146,50			

O teste “F” mostra que existe diferenças entre os tratamentos no nível de significância estatística $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$). Resta saber qual ou quais são diferentes, para isso, foi aplicado o teste de Duncan conforme mostra a seguir.

c) Método de Duncan

As diferenças das médias estão apresentadas na Tabela 64, Tabela 65 e Tabela 66 para o PP, PEBD e PEAD, respectivamente, através de grupos nomeados como A, B e C.

Tabela 64 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PP puro: Ensaio de Dureza.

Dose (kGy)	PP (100%)				
	n	Dureza (Shore D)	DP (Shore D)	CV (%)	Teste Duncan
0	5	65,5	0,7	0,01	A
30	5	69,8	1,2	0,02	B C
50	5	71,1	0,5	0,01	C
100	5	69,6	1,1	0,02	B
200	5	71,0	0,7	0,01	C

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Tabela 65 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEBD puro: Ensaio de Dureza.

Dose (kGy)	PEBD (100%)				
	n	Dureza (Shore D)	DP (Shore D)	CV (%)	Teste Duncan
0	5	45,2	1,2	0,03	A
30	5	50,1	0,6	0,01	B
50	5	50,3	0,6	0,01	B
100	5	49,7	0,7	0,01	B
200	5	51,0	0,9	0,02	C

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Tabela 66 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEAD puro: Ensaio de Dureza.

Dose (kGy)	PEAD (100%)				
	n	Dureza (Shore D)	DP (Shore D)	CV (%)	Teste Duncan
0	5	56,7	1,0	0,02	A
30	5	61,5	2,0	0,03	B
50	5	59,2	4,5	0,08	B
100	5	61,8	2,1	0,03	B
200	5	60,8	0,6	0,01	B

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Para o PP e PEAD, doses acima de 30kGy aumentaram significativamente a dureza do polímero em aproximadamente 9%.

Para o PEBD, dose de 200kGy aumentou em 13% a dureza do material em relação ao polímero não irradiado.

Graficamente, as variações da dureza Shore D, quando os polímeros puros são submetidos às diferentes doses, é mostrada no Gráfico 35.

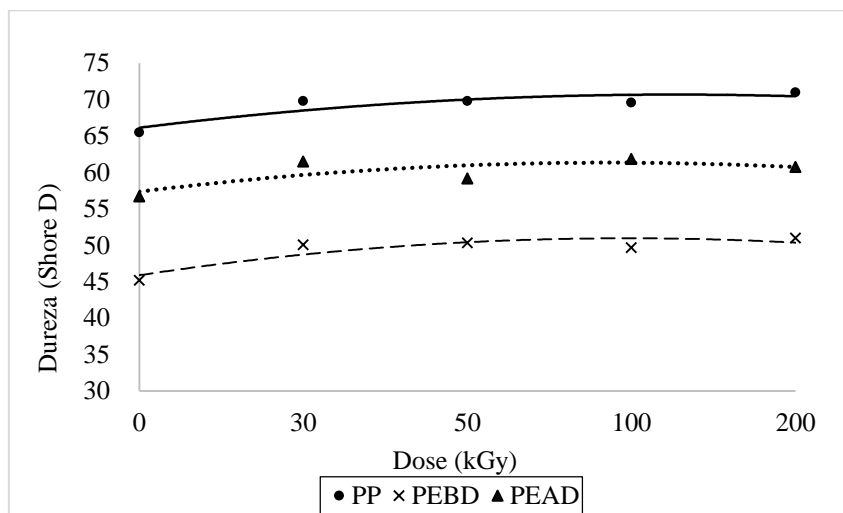


Gráfico 23 – Variação da dureza dos polímeros puros PP, PEBD e PEAD.

4.1.4.2 Ensaio de resistência à dureza em blendas PP/PEBD

Os resultados da modelagem estatística, para o ensaio das blendas PP/PEBD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 67 mostra os valores médios da dureza para as blendas PP/PEBD obtidos para diferentes concentrações dos componentes e doses de radiação.

Tabela 67 – Blenda PP/PEBD: Valor médio da dureza e o respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.

Dose	0kGy		30kGy		50kGy		100kGy		200kGy	
Blenda PP/PEBD (%)	Dureza (ShD)	DP (ShD)	Dureza (ShD)	DP (ShD)	Dureza (ShD)	DP (ShD)	Dureza (ShD)	DP (ShD)	Dureza (ShD)	DP (ShD)
10/90	63,4	1,0	69,7	1,0	67,1	3,8	68,4	1,0	68,8	0,6
20/80	61,2	1,7	67,9	0,7	68,1	0,4	66,7	0,3	65,6	1,4
30/70	59,3	1,2	66,0	0,5	66,0	1,0	64,3	0,9	65,0	0,7
40/60	57,6	0,9	62,8	2,0	62,8	0,4	63,5	0,5	71,0	0,7
50/50	54,9	1,6	60,3	2,0	60,3	0,5	61,7	0,9	60,3	1,2
60/40	53,6	0,5	60,2	0,3	60,2	0,6	57,9	1,1	59,1	1,8
70/30	52,2	1,4	56,8	1,3	56,8	0,9	57,4	2,9	56,9	1,3
80/20	47,1	0,8	53,2	1,2	53,2	0,9	54,3	0,4	52,5	0,4
90/10	45,5	0,8	49,9	1,1	49,8	0,5	50,8	0,9	50,1	1,0

Obs. Experimento realizado com 5 réplicas ($n = 5$).

b) Análise de Variância – 2 FATORES

Pela ANOVA foram investigados os efeitos dos 9 níveis do fator ConcPEBD e dos 5 níveis do fator Dose. O resultado da ANOVA para cada fator, inclusive suas interações, estão descritos na Tabela 68.

Tabela 68 – ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEBD.
Dureza versus ConcPEBD; Dose.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
ConcPEBD	8	7.667,32	958,414	592,43	0,000
Dose	4	1.207,92	301,979	186,66	0,000
Interação	32	349,36	10,918	6,75	0,000
Erro	180	291,20	1,618		
TOTAL	224	9.515,80			

Observa-se, pela Tabela 68, que existe evidências em nível de significância estatística de 95% ($p \leq 0,05$) de que os fatores influenciaram na propriedade (tensão máxima) das blendas PP/PEBD.

Os efeitos e interação dos fatores podem ser visualizados nos Gráficos 24a e 24b.

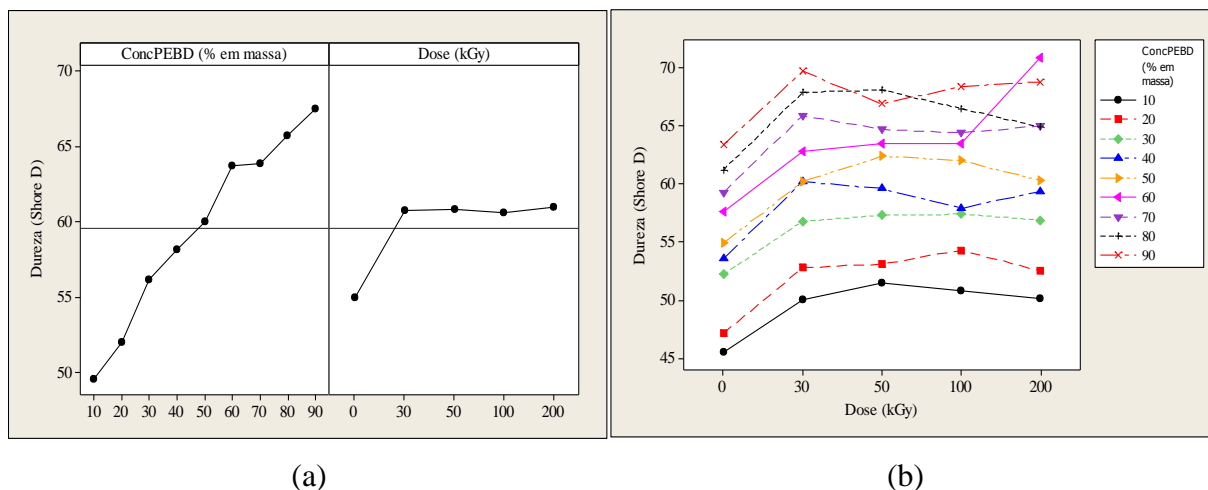


Gráfico 24 – (a) Efeitos dos fatores principais na dureza das blendas PP/PEBD. (b) Efeito da interação dos fatores na dureza das blendas PP/PEBD.

c) Método de Duncan

A Tabela 69 mostra as diferenças dos pares das médias da dureza Shore D para as blendas PP/PEBD, através de grupos nomeados como A, B, C e D.

Tabela 69 – Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEBD (% em massa): Ensaio de Dureza.

PP/PEBD (%)	10/90			20/80			30/70			
	Dose (kGy)	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste Duncan	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste Duncan	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste Duncan
PP/PEBD (%)	0	63,4	0,02	A	61,2	0,03	A	59,3	0,02	A
	30	69,7	0,01	B	67,9	0,01	D	66,0	0,01	C
	50	67,1	0,06	B	68,1	0,01	D	64,7	0,02	B C
	100	68,4	0,01	B	66,7	0,00	C	64,3	0,01	B
	200	68,8	0,01	B	65,6	0,02	B	65,0	0,01	B C
PP/PEBD (%)	40/60			50/50			60/40			
	Dose (kGy)	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste de Duncan	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste de Duncan	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste de Duncan
	0	57,6	0,02	A	54,9	0,03	A	53,6	0,01	A
	30	62,8	0,03	B	60,3	0,03	B	60,2	0,00	C
	50	63,5	0,01	B	62,3	0,01	C	59,7	0,01	C
	100	63,5	0,01	B	61,7	0,01	B C	57,9	0,02	B
200	71,0	0,01	C	60,3	0,02	B	59,1	0,03	C	

Tabela 69 – Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEBD (% em massa): Ensaio de Dureza.

PP/PEBD (%)	70/30			80/20			90/10		
Dose (kGy)	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste de Duncan	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste de Duncan	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste de Duncan
0	52,2	0,03	A	47,1	0,02	A	45,5	0,02	A
30	56,8	0,02	B	53,2	0,02	B	49,9	0,02	B
50	57,3	0,02	B	53,0	0,02	B	51,6	0,01	C
100	57,4	0,05	B	54,3	0,01	C	50,8	0,02	B C
200	56,9	0,02	B	52,5	0,01	B	50,1	0,02	B C

Obs.: Experimentos realizado com mesmo número de réplicas ($n = 5$). Estatisticamente significativo para $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$).

Observa-se pela Tabela 69, que a dose e as diferentes concentrações foram fatores influentes no aumento da dureza das blendas.

Para as blendas 10/90 e 70/30 houve aumento da dureza a partir da dose mínima proposta de 30kGy, entretanto, o aumento da intensidade da dose não implicou em um valor significativo além do obtido uma vez.

Nas demais blendas houve o aumento da dureza a partir de 30kGy e o aumento da intensidade da dose foi indiferente para a maioria das blendas. Nota-se, também, que o aumento da concentração de PEBD aumenta a resistência a dureza.

d) Análise Fatorial 2^k

A Tabela 70 mostra de modo simplificado o modelo Fatorial 2^2 , realizado para as blendas PP/PEBD.

Tabela 70 – Análise Fatorial 2^2 para as blendas PP/PEBD: Ensaio de Dureza.

Ensaio	Coleta de Dados			Experimento Fatorial 2^2		
	FATOR Y (% PEBD)	FATOR Z (Dose)	RESPOSTA (Dureza)	FATOR Y (% PEBD)	FATOR Z (Dose)	Interação [Y x Z]
1	20	30	53,2	-	-	+
2	80	30	67,9	+	-	-
3	20	200	52,5	-	+	-
4	80	200	65,6	+	+	+
			$\Sigma^{-}/2$	52,8	60,5	60,2
			$\Sigma^{+}/2$	66,7	59,0	59,4
			Efeito	+13,9	-1,45	-0,8

Observa-se, portanto, que ao aumentar a concentração de PEBD (FATOR Y) de um produto com 20% de ConcPEBD e 80% de ConcPP para um produto com 80% de ConcPEBD e 20% de ConcPP, a dureza aumentou em 13,9MPa. Por outro lado, quando a dose de radiação (FATOR Z) for alterada de 30kGy para 200kGy, a dureza reduziu em 1,45MPa. O efeito combinado de aumento da ConcPEBD (com a redução da ConcPP) e aumento de dose reduziu 0,8MPa. Graficamente, têm-se:

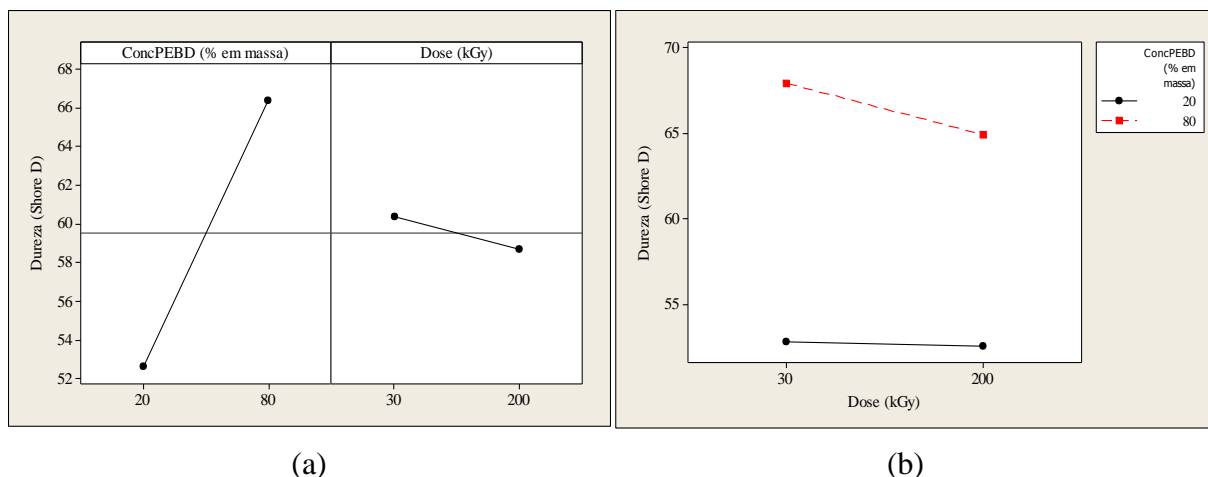


Gráfico 25 – (a) Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a dureza das blendas PP/PEBD. (b) Representação da interação dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a dureza das blendas PP/PEBD.

Para verificar se os efeitos e a interação dos fatores são devido ao acaso ou se são estatisticamente significantes, utilizou-se do delineamento de experimento para a análise fatorial 2^k para $k = 2$ fatores. Os resultados são mostrados na Tabela 71.

Tabela 71 – ANOVA: Fatorial 2^2 para a dureza das blendas PP/PEBD: Ensaio de Dureza.

Fonte de Variação	Graus Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
Efeitos Principais	2	958,925	479,463	881,77	0,000
ConcPEBD	1	945,313	945,313	1738,51	0,000
Dose	1	13,613	13,613	25,03	0,000
Interações 2^2	1	9,112	9,112	16,76	0,001
ConcPEBD*Dose	1	9,112	9,112	16,76	0,001
Erro Residual	16	8,700	0,544		
Total	19	976,738			

Obs. Experimento realizado com 5 réplicas.

A ANOVA informa que os fatores e suas interações foram estatisticamente significante ($p \leq 0,05$), isto é, os fatores Dose, Concentração e a interação foram influentes na propriedade das blendas PP/PEAD.

O gráfico de contorno ou ABACO pode ser observado abaixo.

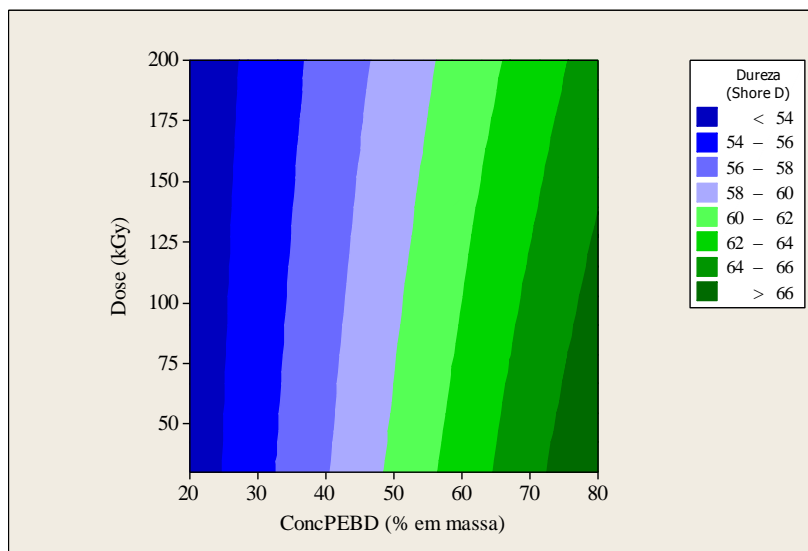


Gráfico 26 – Contorno da dureza versus Dose e ConcPEBD.

Através do ABACO é possível analisar a faixa da resistência de curvatura desejada e a partir daí, estabelecer a dose e concentração dos componentes da blenda.

Observa-se, que o aumento da concentração de PEBD aumenta a dureza das blendas. Apesar das doses serem significantes para a causarem alterações na propriedade das blendas, doses elevadas não foram tão influentes no aumento da propriedade. Essa percepção pode ser visualizada nas curvas do Gráfico 26, quase verticais, em cada concentração.

4.1.4.3 Ensaio de resistência à dureza em blendas PP/PEAD

Os resultados da modelagem estatística do ensaio de dureza das blendas PP/PEAD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 72 mostra os valores médios da dureza das blendas PP/PEAD obtidos para diferentes concentrações dos componentes e doses de radiação.

Tabela 72 – Blenda PP/PEAD: Valor médio da dureza e o respectivo desvio padrão para a blenda polimérica não-irradiada e irradiada a diferentes doses.

Dose	0kGy		30kGy		50kGy		100kGy		200kGy	
PP/PEAD (%)	Dureza (ShD)	DP (ShD)	Dureza (ShD)	DP (ShD)	Dureza (ShD)	DP (ShD)	Dureza (ShD)	DP (ShD)	Dureza (ShD)	DP (ShD)
10/90	68,6	1,1	55,3	1,3	56,6	0,3	56,6	0,4	58,1	0,8
20/80	67,7	0,4	57,8	0,4	57,2	1,3	58,5	0,3	59,2	0,9
30/70	68,6	0,5	58,6	0,4	57,9	0,6	58,9	0,9	59,7	0,4
40/60	67,4	0,5	58,8	1,0	58,4	1,2	60,0	0,3	60,0	0,6
50/50	65,6	1,6	60,1	0,7	60,4	0,7	60,6	0,6	60,8	0,6
60/40	64,0	1,0	59,3	1,1	59,4	1,0	61,1	0,5	61,2	0,6
70/30	63,6	1,6	60,7	0,5	60,9	1,7	62,4	0,3	61,7	0,8
80/20	61,2	2,1	60,7	0,6	61,8	0,7	62,4	1,2	62,3	1,2
90/10	61,4	1,1	61,2	0,9	62,1	0,4	64,1	0,6	62,3	0,5

Obs.: Experimento realizado com 5 réplicas.

b) Análise de Variância – 2 FATORES

Pela ANOVA foram investigados os efeitos dos 9 níveis do fator ConcPEAD e dos 5 níveis do fator Dose. O resultado da ANOVA para cada fator, inclusive suas interações, estão descritos na Tabela 73.

Tabela 73: ANOVA com 2 Fatores para blendas PP/PEAD.

Dureza versus ConcPEAD; Dose.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
ConcPEAD	8	192,09	24,01	32,09	0,000
Dose	4	1.162,26	290,57	388,28	0,000
ConcPEAD*Dose	32	722,38	22,57	30,17	0,000
Erro	180	134,70	0,75		
TOTAL	224	2.211,43			

Observa-se, pela Tabela 73, que existe evidências em nível de significância estatística de 95% ($p \leq 0,05$) de que os fatores influenciaram na propriedade (dureza) das blendas PP/PEAD.

Os efeitos e interação dos fatores podem ser visualizados nos Gráficos 27a e 27b.

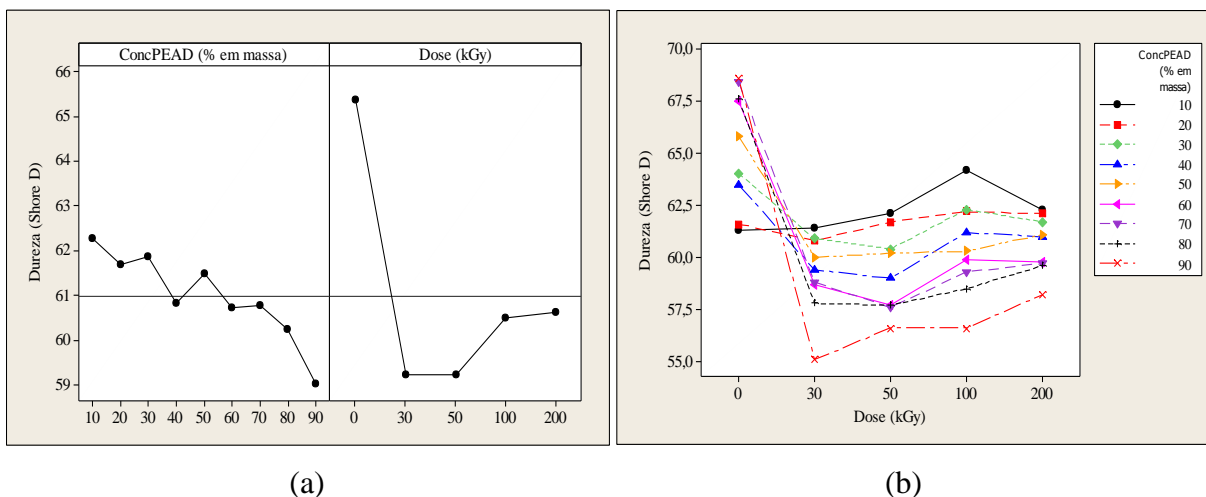


Gráfico 27 – (a) Efeitos dos fatores principais na dureza das blendas PP/PEAD. (b) Efeito da interação dos fatores na dureza das blendas PP/PEAD.

c) Método de Duncan

A Tabela 74 mostra as diferenças dos pares das médias dos tratamentos das blendas PP/PEAD, através de grupos nomeados como A, B, C e D.

Tabela 74 – Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEAD (% em massa): Ensaio de dureza.

PP/PEAD (%)	10/90			20/80			30/70		
Dose (kGy)	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste Duncan	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste Duncan	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste Duncan
0	68,6	0,02	D	67,7	0,01	D	68,6	0,01	D
30	55,3	0,02	A	57,8	0,01	A B	58,6	0,01	B
50	56,6	0,01	B	57,2	0,02	A	57,9	0,01	A
100	56,6	0,01	B	58,5	0,01	B	58,9	0,02	B C
200	58,1	0,01	C	59,2	0,02	C	59,7	0,01	C
PP/PEAD (%)	40/60			50/50			60/40		
Dose (kGy)	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste de Duncan	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste de Duncan	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste de Duncan
0	67,4	0,01	D	65,6	0,02	C	64,0	0,02	C
30	58,8	0,02	B	60,1	0,01	A	59,3	0,02	A
50	58,4	0,02	A	60,4	0,01	A B	59,4	0,02	A
100	60,0	0,01	C	60,6	0,01	A B	61,1	0,01	B
200	60,0	0,01	C	60,8	0,01	B	61,2	0,01	B

Tabela 74 – Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEAD (% em massa): Ensaio de dureza.

PP/PEAD (%)	70/30			80/20			90/10		
Dose (kGy)	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste de Duncan	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste de Duncan	Dureza (ShD)	CV (%)	Teste de Duncan
0	63,6	0,03	C	61,2	0,03	A	61,4	0,02	A
30	60,7	0,01	A B	60,7	0,01	A	61,2	0,01	A
50	60,9	0,03	A	61,8	0,01	A	62,1	0,01	A
100	62,4	0,00	B	62,4	0,02	A	64,1	0,01	B
200	61,7	0,01	A B	62,3	0,02	A	62,3	0,01	A

Obs.: Experimentos realizado com mesmo número de réplicas ($n = 5$). Estatisticamente significativo para $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$).

Observa-se na Tabela 74, que as diferentes doses foram fatores influentes para causarem uma redução na dureza das blendas, isto é, a radiação tornou o material mais frágil.

Exceto para a blenda 80/20, do qual a radiação foi insignificante para causar alguma mudança e para a blenda 90/10 que apresentou um aumento significativo na dureza quando submetida a radiação de 100kGy.

d) Análise Fatorial 2^k

A Tabela 75 mostra de modo simplificado o modelo Fatorial 2², realizado para as blendas PP/PEAD. A escolha dos pares de tratamentos foram aleatórias.

Tabela 75 – Análise Fatorial 2² para blendas PP/PEAD: Ensaio de dureza.

Ensaio	Coleta de Dados			Experimento Fatorial 2 ²		
	FATOR W (ConcPEAD)	FATOR Z (Dose)	RESPOSTA (Dureza)	FATOR W (ConcPEAD)	FATOR Z (Dose)	Interação [Y x Z]
1	20	30	60,80	-	-	+
2	80	30	57,80	+	-	-
3	20	200	62,10	-	+	-
4	80	200	59,60	+	+	+
			$\Sigma^{-}/2$	61,45	59,30	59,95
			$\Sigma^{+}/2$	58,70	60,85	60,20
			Efeito	-2,75	-1,55	+0,25

Nota-se, portanto, que ao aumentar a concentração de PEBD (FATOR W) de um produto com 20% de ConcPEAD e 80% de ConcPP para um produto com 80% de ConcPEAD e 20% de ConcPP, a dureza reduziu em 2,75MPa. Da mesma forma, quando a dose de radiação

(FATOR Z) for alterada de 30kGy para 200kGy, a dureza reduziu em 1,55MPa. O efeito combinado de aumento da ConcPEAD (com a redução da ConcPP) e aumento de dose foi de 0,25MPa. Graficamente, têm-se:

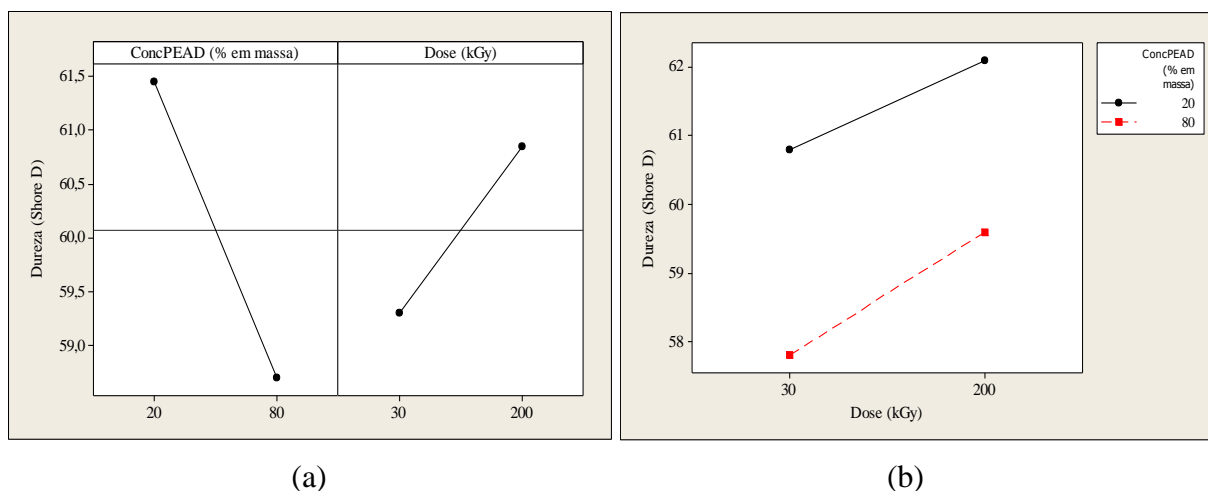


Gráfico 28 – (a) Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a dureza das blendas PP/PEAD. (b) Representação da interação dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a dureza das blendas PP/PEAD.

Os resultados do delineamento de experimento para a análise fatorial 2^k para $p = 2$ fatores estão mostrados na Tabela 76.

Tabela 76 – ANOVA: Fatorial 2^2 para a blenda PP/PEAD: Ensaio de dureza.

Fonte de Variação	Graus Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
Efeitos Principais	2	49,82	24,91	39,86	0,000
ConcPEAD	1	37,81	37,81	60,50	0,000
Dose	1	12,01	12,01	19,22	0,000
Interações 2^2	1	0,31	0,31	0,50	0,490
ConcPEAD*Dose	1	0,31	0,31	0,50	0,490
Erro Residual	16	10,00	0,63		
Total	19	60,14			

Obs. Experimento realizado com 5 réplicas.

A ANOVA informa que os fatores e suas interações foram estatisticamente significante ($p \leq 0,05$), isto é, os fatores Dose, Concentração e a interação entre ele foram

influentes na propriedade das blendas PP/PEAD. O gráfico de contorno ou ABACO pode ser observado abaixo.

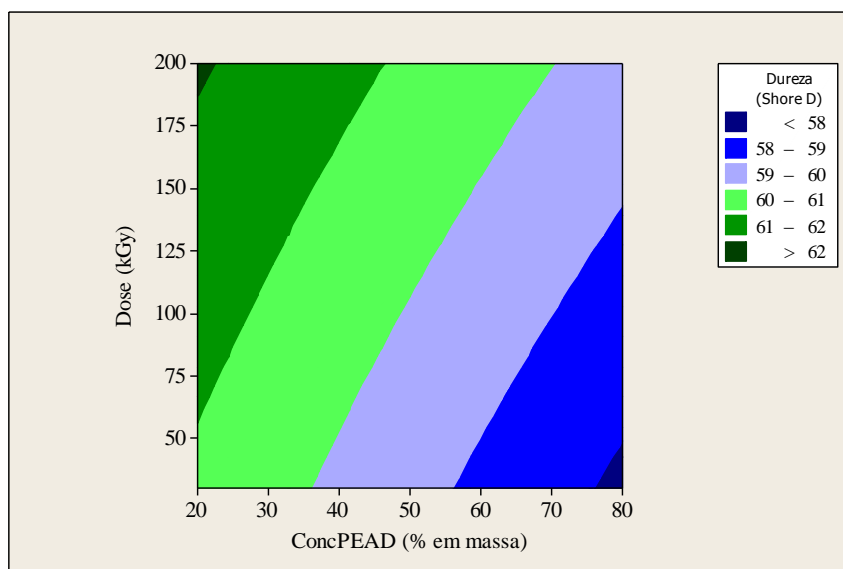


Gráfico 29 – Contorno da dureza versus Dose e ConcPEAD.

Observa-se, que blendas com menor concentração de PEAD e irradiada com maiores doses aumentam a dureza do material, isto é o material torna-se menos frágil.

4.2 PROPRIEDADES TERMOMECÂNICA

As blendas poliméricas não irradiadas e irradiadas a diferentes doses entre 30 e 200kGy foram caracterizadas pelos ensaios de determinação da temperatura de amolecimento (Vicat) e determinação da temperatura de deflexão sob carga (HDT).

4.2.1 Determinação da temperatura de amolecimento – VICAT

A temperatura de amolecimento foi determinada para avaliar o momento em que o polímero passa de um estado desordenado rígido (vítreo) para um estado desordenado no qual as cadeias poliméricas possuem uma mobilidade maior. Os resultados obtidos para esse ensaio estão descritos a seguir. Os polímeros puros PP, PEBD e PEAD foram referências para a visualização dos efeitos nas blendas.

4.2.1.1 VICAT de polímeros puros

Os resultados para os polímeros puros PP, PEBD e PEAD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 77 mostra os valores médio da temperatura de amolecimento obtidos, para os polímeros puros PP, PEBD e PEAD, nas diferentes doses, e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 77 – Polímeros Puros de PP, PEBD e PEAD: Valores médios da temperatura de amolecimento e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiadas e irradiadas.

Dose	0kGy		30kGy		50kGy		100kGy		200kGy	
	Vicat (°C)	DP (°C)	Vicat (°C)	DP (°C)	Vicat (°C)	DP (°C)	Vicat (°C)	DP (°C)	Vicat (°C)	DP (°C)
PP	150,2	0,3	148,7	0,9	148,1	0,4	147,1	1,0	145,1	0,3
PEBD	90,9	1,1	91,0	0,5	92,5	0,3	93,9	0,3	94,5	0,6
PEAD	125,7	1,7	126,8	0,3	126,9	0,3	127,2	0,2	127,7	0,4

Obs: Ensaios realizados com 3 réplicas ($n = 3$).

b) Análise de Variância – FATOR ÚNICO

Pela ANOVA foram investigados os efeitos dos 5 níveis do fator Dose. O experimento para cada um desses níveis foi executado 3 vezes ($n = 3$) e o resultado da ANOVA para os polímeros PP, PEBD e PEAD, estão descritos na Tabela 78, Tabela 79 e Tabela 80, respectivamente.

Tabela 78 – ANOVA Fator único para PP puro: Ensaio Vicat.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	43,30	10,82	25,06	0,000
Erro	10	4,32	0,43		
Total	14	47,62			

Tabela 79 – ANOVA Fator único para PEBD puro: Ensaio Vicat.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	31,32	7,83	20,08	0,000
Erro	10	3,90	0,39		
Total	14	35,22			

Tabela 80 – ANOVA Fator único para PEAD puro: Ensaio Vicat.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	6,66	1,67	2,43	0,116
Erro	10	6,85	0,69		
Total	14	13,52			

O teste “F” mostra que existe diferenças entre os tratamentos no nível de significância estatística $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$) para o PP e PEBD. Para identificar qual ou quais foram diferentes, foi aplicado o teste de Duncan conforme mostra a seguir.

Para o PEAD o valor de ‘p’ foi maior que 5%, isso indica que não houve diferença significativa entre as diferentes doses utilizadas.

c) Método de Duncan

As médias foram comparadas duas a duas e suas diferenças apresentadas na Tabela 81, Tabela 82 e Tabela 83 para o PP, PEBD e PEAD, respectivamente, através de grupos nomeados como A, B e C.

Tabela 81 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PP puro: Ensaio Vicat.

Dose (kGy)	PP (100%)				
	n	Vicat (°C)	DP (°C)	CV (%)	Teste Ducan
0	3	150,2	0,3	0,00	D
30	3	148,7	0,9	0,01	C
50	3	148,1	0,4	0,00	B C
100	3	147,1	1,0	0,01	B
200	3	145,1	0,3	0,00	A

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Tabela 82 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEBD puro: Ensaio Vicat.

Dose (kGy)	PEBD (100%)				Teste Duncan
	n	Vicat (°C)	DP (°C)	CV (%)	
0	3	90,9	1,1	0,01	A
30	3	91,0	0,5	0,01	A
50	3	92,5	0,3	0,00	B
100	3	93,9	0,3	0,00	C
200	3	94,5	0,6	0,01	C

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Tabela 83 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEAD puro: Ensaio Vicat.

Dose (kGy)	PEAD (100%)				Teste Duncan
	n	Vicat (°C)	DP (°C)	CV (%)	
0	3	125,7	1,7	0,01	A
30	3	126,8	0,3	0,00	A B
50	3	126,9	0,3	0,00	A B
100	3	127,2	0,2	0,00	A B
200	3	127,7	0,4	0,00	B

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Para o PP o ponto de amolecimento do PP ocorreu em uma temperatura mais baixa, portanto, a radiação reduziu seu ponto de fusão.

Para o PEBD a radiação aumentou o ponto de fusão do polímero em 4% após ser irradiada com 100kGy e para o PEAD houve aumento de 2% após a irradiação de 30kGy.

Graficamente, as variações da temperatura de amolecimento, quando os polímeros puros são submetidos às diferentes doses, é mostrada no Gráfico 46.

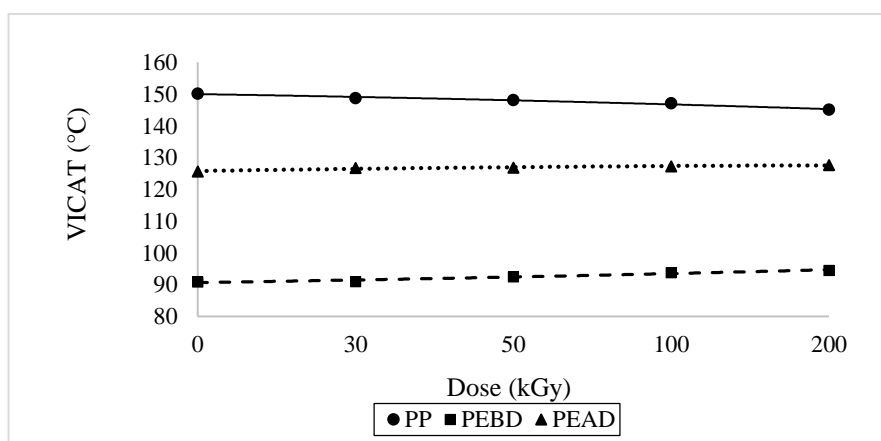


Gráfico 30 – Variação da temperatura de amolecimento dos polímeros puros PP, PEBD e PEAD.

4.2.1.2 VICAT de blendas PP/PEBD

Os resultados da modelagem estatística, para o ensaio das blendas PP/PEBD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 84 mostra os valores médios da temperatura de amolecimento para as blendas PP/PEBD obtidos para diferentes concentrações dos componentes e doses de radiação.

Tabela 84 – Blenda PP/PEBD: Valor médio da temperatura de amolecimento e o respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.

Dose	0 kGy		30 kGy		50 kGy		100 kGy		200 kGy	
	Vicat (°C)	DP (°C)	Vicat (°C)	DP (°C)	Vicat (°C)	DP (°C)	Vicat (°C)	DP (°C)	Vicat (°C)	DP (°C)
Blenda PP/PEBD (%)										
10/90	92,1	1,6	93,5	0,6	93,2	0,2	94,1	0,1	95,2	0,5
20/80	94,9	0,6	96,0	0,5	97,0	0,4	96,8	2,1	98,5	0,7
30/70	99,9	0,2	100,9	0,6	101,1	0,2	101,4	0,7	102,0	0,2
40/60	104,0	0,3	105,0	0,6	105,4	0,2	105,6	0,8	105,6	0,7
50/50	109,4	0,3	110,3	0,2	110,9	0,3	110,9	0,3	113,4	0,6
60/40	115,1	0,3	116,6	0,6	116,8	1,3	117,0	1,3	118,7	0,4
70/30	130,6	0,3	132,1	1,9	131,3	0,9	133,1	0,1	133,2	1,9
80/20	139,4	0,3	140,1	0,6	139,0	0,2	138,2	0,1	137,6	0,1
90/10	147,0	0,2	146,3	0,1	145,2	0,1	144,5	0,3	141,1	2,1

Obs. Experimento realizado com 3 réplicas ($n = 3$).

b) Análise de Variância – 2 FATORES

Pela ANOVA foram investigados os efeitos dos 9 níveis do fator ConcPEBD e dos 5 níveis do fator Dose. O resultado da ANOVA para cada fator, inclusive suas interações, estão descritos na Tabela 85.

Tabela 85 – ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEBD.

Vicat versus ConcPEBD; Dose.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
ConcPEBD	8	42.893,8	5.361,73	8.231,93	0,000
Dose	4	32,1	8,02	12,32	0,000
Interação	32	143,1	4,47	6,87	0,000
Erro	90	58,6	0,65		
TOTAL	134	43.127,6			

Observa-se, pela Tabela 85, que existe evidências em nível de significância estatística de 95% ($p \leq 0,05$) de que os fatores influenciaram na propriedade (Vicat) das blendas PP/PEBD.

Os efeitos e interação dos fatores podem ser visualizados nos Gráficos 31a e 31b.

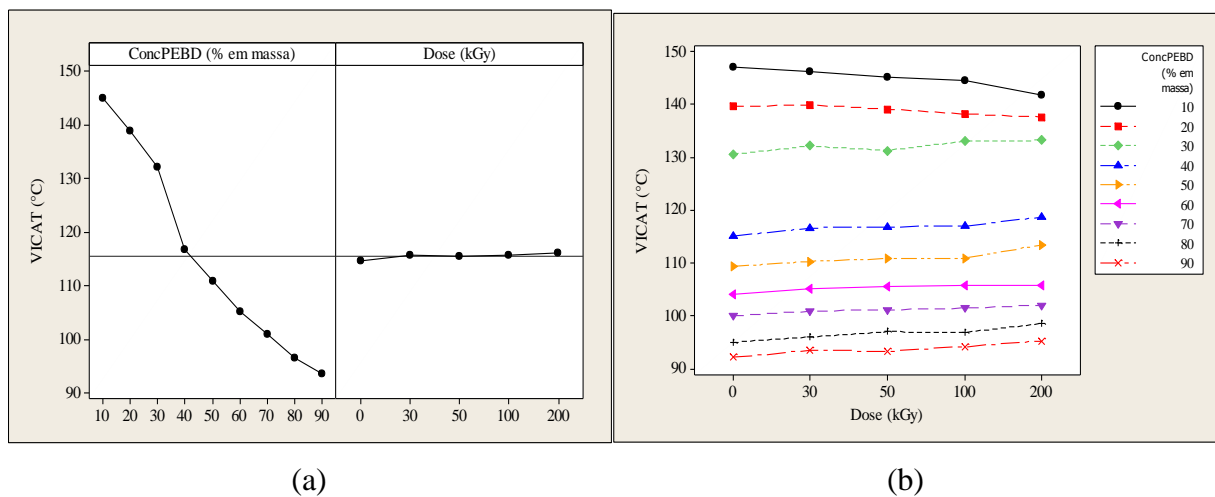


Gráfico 31 – (a) Efeitos dos fatores principais na temperatura de amolecimento das blendas PP/PEBD. (b) Efeito da interação dos fatores na temperatura de amolecimento das blendas PP/PEBD.

c) Método de Duncan

A Tabela 86 mostra as diferenças dos pares das médias da temperatura de amolecimento para as blendas PP/PEBD, através de grupos nomeados como A, B e C.

Tabela 86 – Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEBD (% em massa): Ensaio Vicat.

PP/PEBD (%)	10/90			20/80			30/70		
Dose (kGy)	Vicat (°C)	CV (%)	Teste Duncan	Vicat (°C)	CV (%)	Teste Duncan	Vicat (°C)	CV (%)	Teste Duncan
0	92,1	0,02	A	94,9	0,01	A	99,9	0,00	A
30	93,5	0,01	A B	96,0	0,01	A	100,9	0,01	B
50	93,2	0,00	A B	97,0	0,00	A B	101,1	0,00	B
100	94,1	0,00	B C	96,8	0,02	A B	101,4	0,01	B C
200	95,2	0,01	C	98,5	0,01	B	102,0	0,00	C
PP/PEBD (%)	40/60			50/50			60/40		
Dose (kGy)	Vicat (°C)	CV (%)	Teste de Duncan	Vicat (°C)	CV (%)	Teste de Duncan	Vicat (°C)	CV (%)	Teste de Duncan
0	104,0	0,00	A	109,4	0,00	A	115,1	0,00	A
30	105,0	0,01	A B	110,3	0,00	B	116,6	0,01	A B
50	105,4	0,00	B	110,9	0,00	B	116,8	0,01	B
100	105,6	0,01	B	110,9	0,00	B	117,0	0,01	B
200	105,6	0,01	B	113,4	0,01	C	118,7	0,00	C
PP/PEBD (%)	70/30			80/20			90/10		
Dose (kGy)	Vicat (°C)	CV (%)	Teste de Duncan	Vicat (°C)	CV (%)	Teste de Duncan	Vicat (°C)	CV (%)	Teste de Duncan
0	130,6	0,00	A	139,4	0,00	B C	147,0	0,00	C
30	132,1	0,01	A B	140,1	0,00	C	146,3	0,00	B C
50	131,3	0,01	A B	139,0	0,00	B	145,2	0,00	B
100	133,1	0,00	A B	138,2	0,00	A	144,5	0,00	B
200	133,2	0,01	B	137,6	0,00	A	141,1	0,01	A

Obs.: Experimentos realizado com mesmo número de réplicas ($n = 3$). Estatisticamente significativa para $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$).

Os diferentes grupos indicados pelo teste de Duncan mostra que houveram diferenças significativas entre as diferentes doses. Observa-se que para as blendas 10/90, 20/80, 30/70, 40/60 e 70/30 a radiação não influenciou nos resultados.

A dose de 200kGy foi eficiente para aumentar a temperatura das blendas 50/50 e 60/40. Blendas com concentrações de 10 e 20% de PEBD tiveram uma diminuição da temperatura de amolecimento com dose de 200kGy.

d) Análise Fatorial 2^k

A Tabela 87 mostra de modo simplificado o modelo Fatorial 2², realizado para as blendas PP/PEBD. A escolha dos pares de tratamentos foram aleatórias.

Tabela 87 – Análise Fatorial 2² para as blendas PP/PEBD: Ensaio Vicat.

Ensaio	Coleta de Dados			Experimento Fatorial 2 ²		
	FATOR Y (% PEBD)	FATOR Z (Dose)	RESPOSTA (Vicat)	FATOR Y (% PEBD)	FATOR Z (Dose)	Interação [Y x Z]
1	20	30	140,1	-	-	+
2	80	30	96,0	+	-	-
3	20	200	137,6	-	+	-
4	80	200	98,5	+	+	+
			$\Sigma^{-}/2$	138,8	118,0	116,8
			$\Sigma^{+}/2$	97,2	118,0	119,3
			Efeito	-41,6	0,0	+2,5

Observa-se, portanto, que ao aumentar a concentração de PEBD (FATOR Y) de um produto com 20% de ConcPEBD e 80% de ConcPP para um produto com 80% de ConcPEBD e 20% de ConcPP, a temperatura de amolecimento reduziu em 41,6MPa. Por outro lado, não há alteração na temperatura de amolecimento se a dose de radiação (FATOR Z) for alterada de 30kGy para 200kGy. O efeito combinado do aumento da ConcPEBD (com a redução da ConcPP) e aumento de dose foi de 2,5MPa. Graficamente, têm-se:

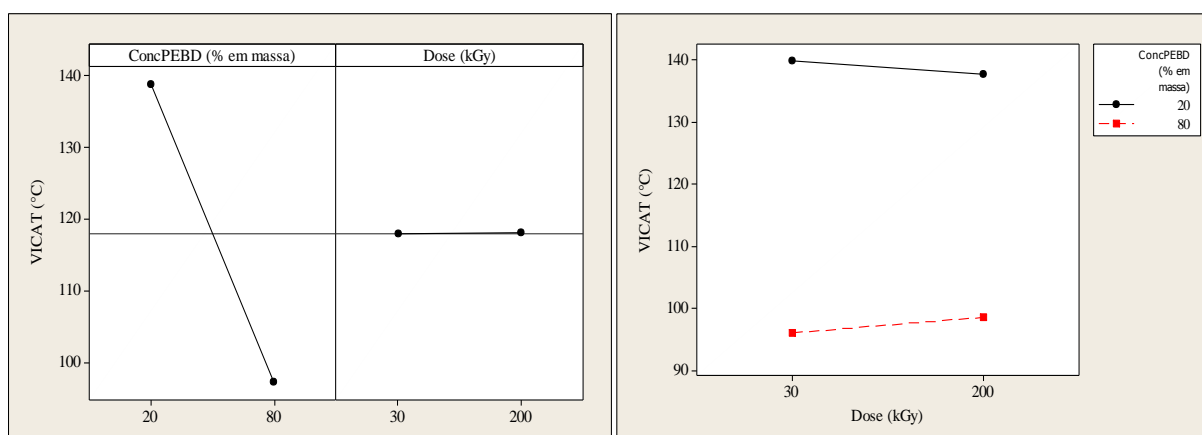


Gráfico 32 – (a) Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a temperatura de amolecimento das blendas PP/PEBD. (b) Representação da interação dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a temperatura de amolecimento das blendas PP/PEBD.

Os resultados da análise fatorial 2^k para $p = 2$ fatores estão descritos na Tabela 88.

Tabela 88 – ANOVA: Fatorial 2^2 para a temperatura de amolecimento das blendas PP/PEBD:
Ensaio Vicat.

Fonte de Variação	Graus Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
Efeitos Principais	2	5.175,08	2.587,54	10.490,03	0,000
ConcPEBD	1	5.175,05	5.175,05	20.979,95	0,000
Dose	1	0,03	0,03	0,12	0,736
Interações 2^2	1	17,28	17,28	70,05	0,000
ConcPEBD*Dose	1	17,28	17,28	70,05	0,000
Erro Residual	8	1,97	0,25		
Total	11				

Obs. Experimento realizado com 3 réplicas.

A ANOVA informa que os fatores e suas interações foram estatisticamente significante ($p \leq 0,05$), isto é, os fatores Dose, Concentração e a interação foram influentes na propriedade das blendas PP/PEAD.

O gráfico de contorno ou ABACO pode ser observado abaixo.

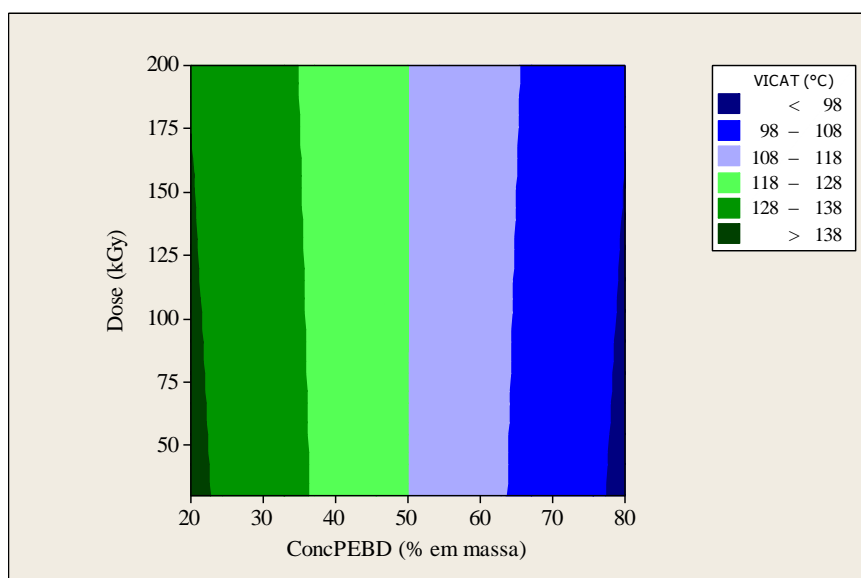


Gráfico 33 – Contorno VICAT vs Dose e ConcPEBD.

Observa-se, que a dose não foi fator influente para provocar alguma alteração na temperatura de amolecimento das blendas PP/PEBD. Quanto maior a concentração de PEBD na blenda menor será o ponto de amolecimento do material.

4.2.1.3 VICAT de blendas PP/PEAD

Os resultados da modelagem estatística da temperatura de amolecimento das blendas PP/PEAD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 89 mostra os valores médios da temperatura de amolecimento para as blendas PP/PEAD obtidos para diferentes concentrações dos componentes e doses de radiação.

Tabela 89 – Blenda PP/PEAD: Valor médio da temperatura de amolecimento e o respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.

Dose	0kGy		30kGy		50kGy		100kGy		200kGy	
	Vicat (°C)	DP (°C)	Vicat (°C)	DP (°C)	Vicat (°C)	DP (°C)	Vicat (°C)	DP (°C)	Vicat (°C)	DP (°C)
Blenda PP/PEAD (%)										
10/90	129,4	0,2	129,2	0,1	129,3	0,1	129,0	0,2	129,5	0,4
20/80	129,2	0,1	129,4	0,2	129,2	0,1	129,3	0,1	129,8	0,4
30/70	130,2	0,1	130,0	0,2	130,0	0,1	130,2	0,1	130,8	0,4
40/60	131,0	0,4	131,0	0,3	131,2	0,3	131,3	0,3	131,7	0,4
50/50	132,4	0,4	132,5	0,1	131,8	0,3	132,5	0,5	133,8	0,4
60/40	136,8	1,4	134,5	0,6	134,5	0,5	135,7	0,3	137,5	0,2
70/30	144,0	0,9	143,5	0,1	142,9	0,4	141,8	0,2	-	0,0
80/20	149,7	0,1	147,7	0,1	147,5	0,1	145,5	0,1	143,8	0,3
90/10	151,9	1,6	149,7	1,5	149,7	0,4	147,9	0,4	146,0	0,0

Obs. Experimento realizado com 3 réplicas ($n = 3$).

b) Análise de Variância – 2 FATORES

Pela ANOVA foram investigados os efeitos dos 9 níveis do fator ConcPEAD e dos 5 níveis do fator Dose. A temperatura de amolecimento para cada um desses níveis foi executado com mesmo número de réplicas e o resultado da ANOVA para cada fator, inclusive suas interações, estão descritos na Tabela 90.

Tabela 90 – ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEAD.
Vicat versus ConcPEAD; Dose.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
ConcPEAD	8	7.314,66	914,33	3.867,01	0,000
Dose	4	27,44	6,86	29,01	0,000
Interação	32	136,54	4,27	18,05	0,000
Erro	90	21,28	0,24		
TOTAL	134	7.499,92			

Observa-se, pela Tabela 90, que existe evidências em nível de significância estatística de 95% ($p \leq 0,05$) de que os fatores influenciaram na propriedade (Vicat) das blendas PP/PEAD.

Os efeitos e interação dos fatores podem ser visualizados nos Gráficos 34a e 34b.

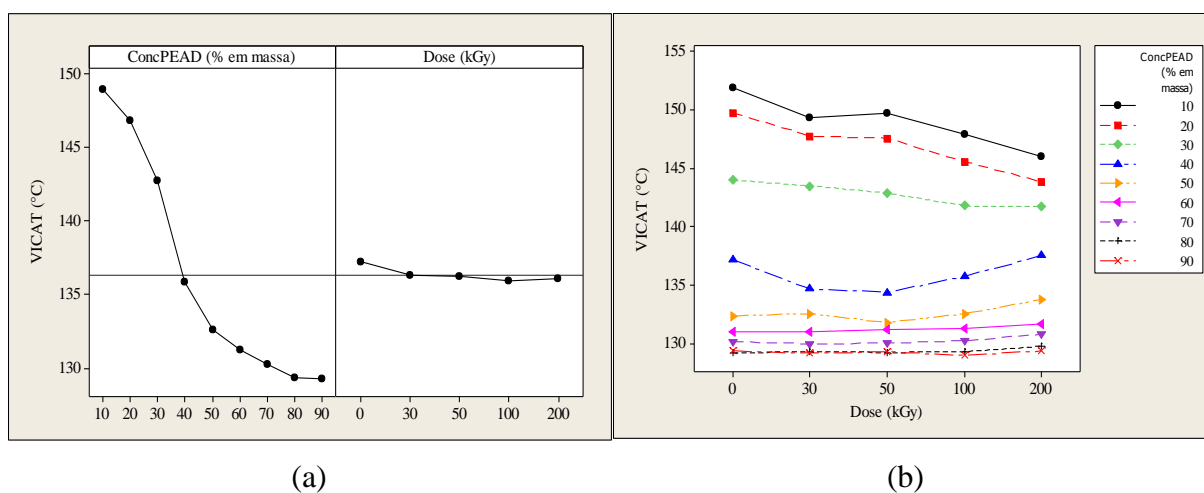


Gráfico 34 – (a) Efeitos dos fatores principais na temperatura de amolecimento das blendas PP/PEAD. (b) Efeito da interação dos fatores na temperatura de amolecimento das blendas PP/PEAD.

c) Método de Duncan

A Tabela 91 mostra os resultados do teste de Duncan para as blendas PP/PEAD, através de grupos nomeados como A, B, C e D.

Tabela 91 – Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEAD (% em massa): Ensaio Vicat.

PP/PEAD (%)	10/90			20/80			30/70		
Dose (kGy)	Vicat (°C)	CV (%)	Teste de Duncan	Vicat (°C)	CV (%)	Teste de Duncan	Vicat (°C)	CV (%)	Teste de Duncan
0	129,4	0,00	B	129,2	0,00	A	130,2	0,00	A
30	129,2	0,00	A B	129,4	0,00	A	130,0	0,00	A
50	129,3	0,00	B	129,2	0,00	A	130,0	0,00	A
100	129,0	0,00	A	129,3	0,00	A	130,2	0,00	A
200	129,5	0,00	B	129,8	0,00	B	130,8	0,00	B
PP/PEAD (%)	40/60			50/50			60/40		
Dose (kGy)	Vicat (°C)	CV (%)	Teste de Duncan	Vicat (°C)	CV (%)	Teste de Duncan	Vicat (°C)	CV (%)	Teste de Duncan
0	131,0	0,00	A	132,4	0,00	A B	136,8	0,01	B
30	131,0	0,00	A	132,5	0,00	B	134,5	0,00	A
50	131,2	0,00	A B	131,8	0,00	A	134,5	0,00	A
100	131,3	0,00	A B	132,5	0,00	B	135,7	0,00	A
200	131,7	0,00	B	133,8	0,00	C	137,5	0,00	B
PP/PEAD (%)	70/30			80/20			90/10		
Dose (kGy)	Vicat (°C)	CV (%)	Teste de Duncan	Vicat (°C)	CV (%)	Teste de Duncan	Vicat (°C)	CV (%)	Teste de Duncan
0	144,0	0,01	C	149,7	0,00	D	151,9	0,01	C
30	143,5	0,00	B C	147,7	0,00	C	149,7	0,01	B
50	142,9	0,00	B	147,5	0,00	C	149,7	0,00	B
100	141,8	0,00	A	145,5	0,00	B	147,9	0,00	B
200	-	-	-	143,8	0,00	A	146,0	0,00	A

Obs.: Experimentos realizado com mesmo número de réplicas ($n = 3$). Estatisticamente significativo para $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$).

Observa-se que uma dose de 200kGy foi suficiente para aumentar a temperatura de amolecimento das blendas 20/80, 30/70 e 50/50. Blendas com concentração de PEAD inferior a 30% tiveram sua temperatura reduzida com a irradiação. Demais blendas não sofreram alterações significativas na propriedade.

d) Análise Fatorial 2^k

A Tabela 92 mostra de modo simplificado o modelo Fatorial 2², realizado para as blendas PP/PEAD. A escolha dos pares de tratamentos foram aleatórias.

Tabela 92 – Experimento Fatorial 2² para as blendas PP/PEAD: Ensaio Vicat.

Coleta de Dados			Experimento Fatorial 2 ²			
Ensaio	FATOR W (% PEAD)	FATOR Z (Dose)	RESPOSTA (Vicat)	FATORW (% PEBD)	FATOR Z (Dose)	Interação [Y x Z]
1	20	30	147,7	-	-	+
2	80	30	129,2	+	-	-
3	20	200	143,8	-	+	-
4	80	200	129,8	+	+	+
			$\Sigma^{-\cdot}/2$	145,8	138,4	136,5
			$\Sigma^{+\cdot}/2$	129,5	136,8	138,7
			Efeito	-16,3	-1,6	+2,25

Observa-se, portanto, que ao aumentar a concentração de PEAD (FATOR W) de um produto com 20% de ConcPEAD e 80% de ConcPP para um produto com 80% de ConcPEAD e 20% de ConcPP, a temperatura de amolecimento reduziu em 16,3MPa. Da mesma forma, quando a dose de radiação (FATOR Z) for alterada de 30kGy para 200kGy, a temperatura de amolecimento reduziu em 1,6MPa. O efeito combinado de aumento da ConcPEAD (com a redução da ConcPP) e aumento de dose foi de 2,5MPa. Graficamente, têm-se:

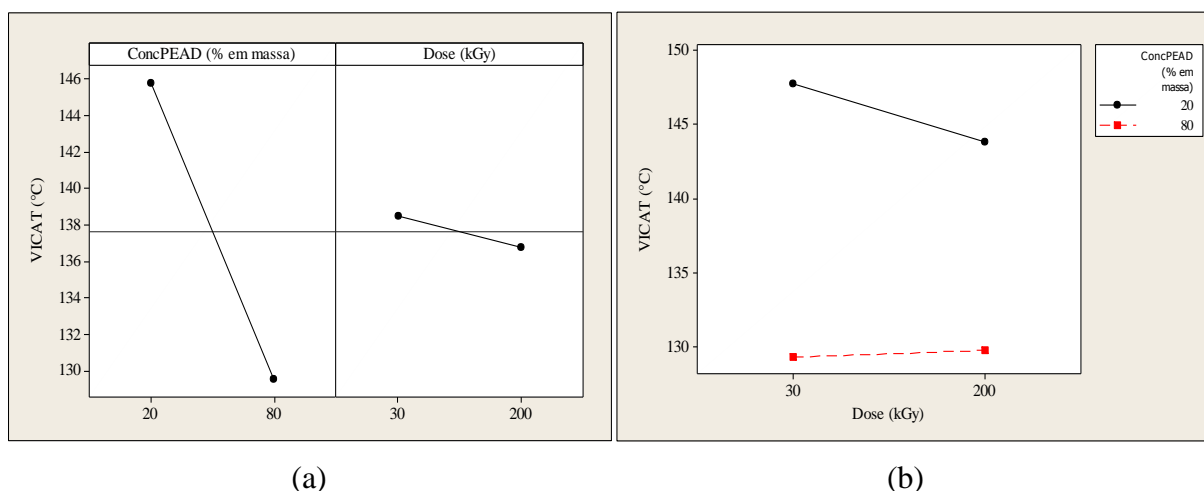


Gráfico 35 – (a) Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a temperatura de amolecimento das blendas PP/PEAD. (b) Representação da interação dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a temperatura de amolecimento das blendas PP/PEAD.

Para verificar se esses efeitos dos fatores e a interação são devido ao acaso ou se são estatisticamente significantes, utilizou-se do delineamento de experimento para a análise fatorial 2^k para p = 2 fatores. Os resultados são mostrados na Tabela 93.

Tabela 93 – ANOVA: Fatorial 2² para a temperatura de amolecimento das blendas PP/PEAD:
Ensaio Vicat.

Fonte de Variação	Graus Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
Efeitos Principais	2	801,03	400,51	5.340,19	0,000
ConcPEAD	1	792,19	792,19	10.562,50	0,000
Dose	1	8,84	8,84	117,88	0,000
Interações 2 ²	1	14,30	14,30	190,68	0,000
ConcPEAD*Dose	1	14,30	14,30	190,68	0,000
Erro Residual	8	0,60	0,075		
Total	11	815,93			

Obs. Experimento realizado com 3 réplicas.

A ANOVA informa que os fatores e suas interações foram estatisticamente significante ($p \leq 0,05$), isto é, os fatores Dose, Concentração e a interação foram influentes na propriedade das blendas PP/PEAD.

O gráfico de contorno ou ABACO pode ser observado abaixo.

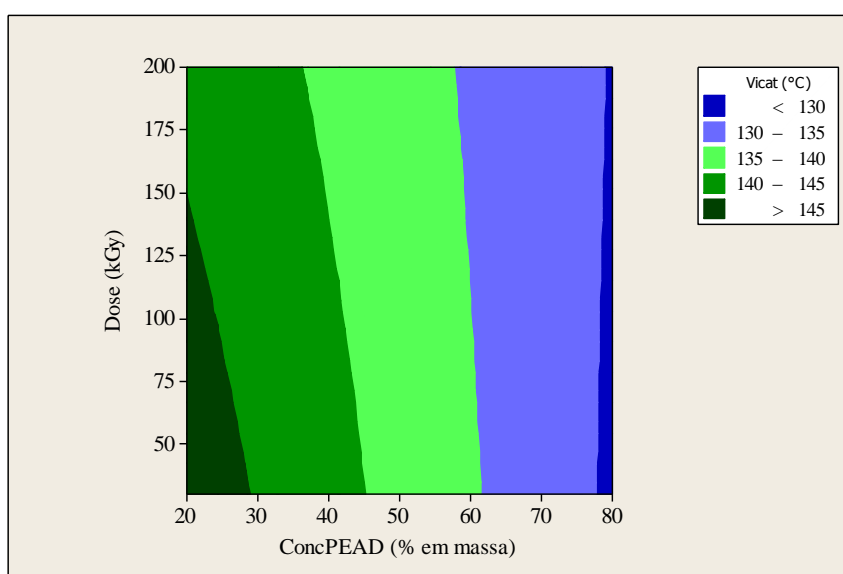


Gráfico 36 – Contorno VICAT vs Dose e ConcPEAD.

Através do ABACO é possível analisar a faixa da temperatura de amolecimento desejada e a partir daí, estabelecer a dose e concentração dos componentes da blenda.

Observa-se, que quanto menor a quantidade de PEBD na blenda maior será a temperatura de amolecimento. E doses menores são suficientes para causarem alterações na temperatura.

4.2.2 Determinação da temperatura de deflexão sob carga – HDT

A seguir estão descritos os resultados obtidos para a temperatura de deflexão sob carga das blendas PP/PE. Os polímeros puros PP, PEBD e PEAD foram referências para a visualização dos efeitos nas blendas.

4.2.2.1 HDT de polímeros puros

Os resultados dessa temperatura de deflexão sob carga para os polímeros puros PP, PEBD e PEAD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 94 mostra os valores médio da temperatura de deflexão obtidos, para os polímeros puros PP, PEBD e PEAD, nas diferentes doses, e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 94 – Polímeros Puros de PP, PEBD e PEAD: Valores médios da temperatura de deflexão e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiadas e irradiadas.

Dose	0kGy		30kGy		50kGy		100kGy		200kGy	
	HDT (°C)	DP (°C)	HDT (°C)	DP (°C)	HDT (°C)	DP (°C)	HDT (°C)	DP (°C)	HDT (°C)	DP (°C)
Polímeros										
PP	114,7	7,2	114,5	6,9	112,5	7,6	114,2	4,2	116,1	5,9
PEBD	58,6	0,5	56,6	2,6	60,4	3,2	64,7	0,5	64,3	1,2
PEAD	84,2	6,0	81,7	3,3	88,7	5,1	88,1	5,9	89,6	3,1

Obs: Ensaios realizados com 3 réplicas ($n = 3$).

b) Análise de Variância – FATOR ÚNICO

Pela ANOVA foram investigados os efeitos dos 5 níveis do fator Dose. O experimento para cada um desses níveis foi executado 3 vezes ($n = 3$) e o resultado da ANOVA para os polímeros PP, PEBD e PEAD, estão descritos na Tabela 95, Tabela 96 e Tabela 97, respectivamente.

Tabela 95 – ANOVA Fator único para PP puro: Ensaio HDT.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	21,2	5,3	0,13	0,969
Erro	10	418,3	41,8		
Total	14	439,5			

Tabela 96 – ANOVA Fator único para PEBD puro: Ensaio HDT.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	146,58	36,64	9,72	0,002
Erro	10	37,71	3,77		
Total	14	184,29			

Tabela 97 – ANOVA Fator único para PEAD puro: Ensaio HDT.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	Teste F	Valor-p
Dose	4	137,1	34,3	1,45	0,289
Erro	10	237,0	23,7		
Total	14	374,0			

O teste “F” mostra que existe diferenças entre os tratamentos no nível de significância estatística $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$) apenas para o PEBD. Para identificar qual ou quais foram diferentes, foi aplicado o teste de Duncan conforme mostra a seguir.

c) Método de Duncan

A Tabela 98, Tabela 99 e Tabela 100 descreve o teste de Duncan para o PP, PEBD e PEAD, respectivamente, através de grupos nomeados como A, B e C.

Tabela 98 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PP puro: Ensaio HDT.

Dose (kGy)	PP (100%)				
	n	HDT (°C)	DP (°C)	CV (%)	Teste Duncan
0	3	114,7	7,2	0,06	A
30	3	114,5	6,9	0,06	A
50	3	112,5	7,6	0,07	A
100	3	114,2	4,2	0,04	A
200	3	116,1	5,9	0,05	A

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Tabela 99 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEBD puro: Ensaio HDT.

Dose (kGy)	PEBD (100%)				
	<i>n</i>	HDT (°C)	DP (°C)	CV (%)	Teste Duncan
0	3	58,6	0,5	0,01	A B
30	3	56,6	2,6	0,05	A
50	3	60,4	3,2	0,05	B
100	3	64,7	0,5	0,01	C
200	3	64,3	1,2	0,02	C

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

Tabela 100 – Teste de Duncan: Comparação entre médias para PEAD puro: Ensaio HDT.

Dose (kGy)	PEAD (100%)				
	<i>n</i>	HDT (°C)	DP (°C)	CV (%)	Teste Duncan
0	3	84,2	6	0,07	A
30	3	81,7	3,3	0,04	A
50	3	88,7	5,1	0,06	A
100	3	88,1	5,9	0,07	A
200	3	89,6	3,1	0,03	A

As médias que não compartilham do mesmo grupo são diferentes em nível de significância estatística ($\alpha \leq 0,05$).

O PEBD sofreu um aumento de 10% na temperatura de deflexão sob carga quando submetido a radiação de 10kGy. Para o PP e PEAD não observou alterações significativas em suas propriedades.

Graficamente, as variações da temperatura de deflexão, quando os polímeros puros são submetidos às diferentes doses, é mostrada no Gráfico 37.

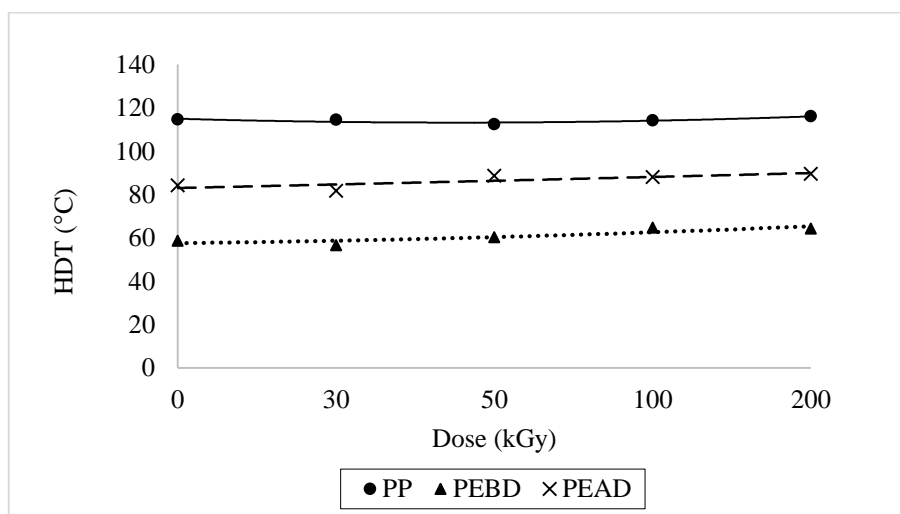


Gráfico 37 – Variação da temperatura de deflexão dos polímeros puros PP, PEBD e PEAD.

4.2.2.2 HDT de blendas PP/PEBD

Os resultados da modelagem estatística, para o ensaio das blendas PP/PEBD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 101 mostra os valores médios da temperatura de deflexão para as blendas PP/PEBD obtidos para diferentes concentrações dos componentes e doses de radiação.

Tabela 101 – Blenda PP/PEBD: Valor médio da temperatura de deflexão e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.

Dose	0kGy		30kGy		50kGy		100kGy		200kGy	
	HDT (°C)	DP (°C)	HDT (°C)	DP (°C)	HDT (°C)	DP (°C)	HDT (°C)	DP (°C)	HDT (°C)	DP (°C)
Blenda PP/PEBD (%)										
10/90	59,3	2,9	60,2	4,4	66,0	2,0	66,0	1,0	66,9	2,1
20/80	65,9	2,4	62,2	1,4	79,5	2,4	70,5	2,3	69,8	0,9
30/70	69,3	1,4	74,6	1,9	73,8	0,5	77,7	2,7	75,4	2,1
40/60	76,9	6,4	80,0	3,2	82,3	5,2	83,1	3,6	86,1	4,6
50/50	87,4	1,2	86,0	2,4	95,3	2,8	91,3	5,2	95,7	2,9
60/40	85,3	5,1	92,5	3,7	87,3	3,6	90,5	1,4	94,0	3,8
70/30	100,1	5,2	94,7	4,3	105,6	1,4	104,5	5,4	105,2	4,4
80/20	94,3	6,4	103,4	1,2	103,7	6,1	109,3	3,5	108,4	0,1
90/10	102,0	2,4	106,8	3,8	113,4	4,4	106,3	2,7	109,9	0,6

Obs. Experimento realizado com 3 réplicas ($n = 3$).

b) Análise de Variância – 2 FATORES

Pela ANOVA foram investigados os efeitos dos 9 níveis do fator ConcPEBD e dos 5 níveis do fator Dose. O resultado da ANOVA estão descritos na Tabela 102.

Tabela 102 – ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEBD.

HDT versus ConcPEBD; Dose.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
ConcPEBD	8	29.843,0	3.730,37	310,08	0,000
Dose	4	1.328,5	332,12	27,61	0,000
Interação	32	1.036,9	32,40	2,69	0,000
Erro	90	1.082,7	12,03		
TOTAL	134	33.291,1			

Observa-se, pela Tabela 102, que existe evidências em nível de significância estatística de 95% ($p \leq 0,05$) de que os fatores influenciaram na propriedade (HDT) das blendas PP/PEBD.

Os efeitos e interação dos fatores podem ser visualizados nos Gráficos 38a e 38b.

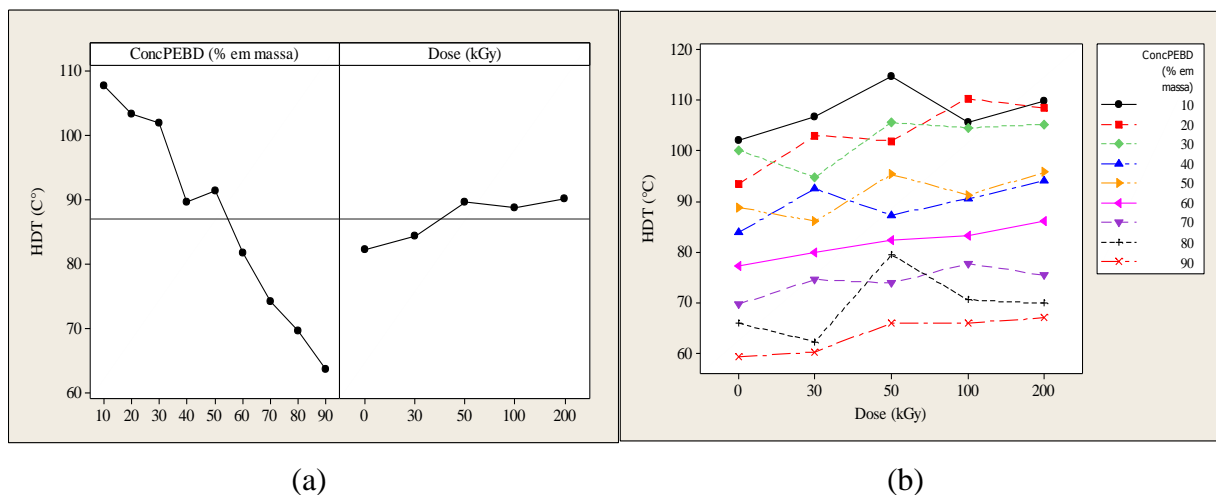


Gráfico 38 – (a) Efeitos dos fatores principais na temperatura de deflexão das blendas PP/PEBD. (b) Efeito da interação dos fatores na temperatura de deflexão das blendas PP/PEBD.

c) Método de Duncan

A Tabela 103 mostra as diferenças dos pares das médias da temperatura de deflexão para as blendas PP/PEBD, através de grupos nomeados como A, B e C.

Tabela 103 – Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEBD (% em massa): Ensaio HDT.

PP/PEBD (%)	10/90			20/80			30/70		
Dose (kGy)	HDT (°C)	CV (%)	Teste Duncan	HDT (°C)	CV (%)	Teste Duncan	HDT (°C)	CV (%)	Teste Duncan
0	59,3	0,05	A	65,9	0,04	B	69,3	0,02	A
30	60,2	0,07	A	62,2	0,02	A	74,6	0,03	B C
50	66,0	0,03	B	79,5	0,03	D	73,8	0,01	B
100	66,0	0,02	B	70,5	0,03	C	77,7	0,03	C
200	66,9	0,03	B	69,8	0,01	C	75,4	0,03	B C
PP/PEBD (%)	40/60			50/50			60/40		
Dose (kGy)	HDT (°C)	CV (%)	Teste de Duncan	HDT (°C)	CV (%)	Teste de Duncan	HDT (°C)	CV (%)	Teste de Duncan
0	76,9	0,08	A	87,4	0,01	A	85,3	0,06	A
30	80,0	0,04	A	86,0	0,03	A	92,5	0,04	B
50	82,3	0,06	A	95,3	0,03	B	87,3	0,04	A B
100	83,1	0,04	A	91,3	0,06	A B	90,5	0,02	A B
200	86,1	0,05	A	95,7	0,03	B	94,0	0,04	B
PP/PEBD (%)	70/30			80/20			90/10		
Dose (kGy)	HDT (°C)	CV (%)	Teste de Duncan	HDT (°C)	CV (%)	Teste de Duncan	HDT (°C)	CV (%)	Teste de Duncan
0	100,1	0,05	A B	94,3	0,07	A	102,0	0,02	A
30	94,7	0,05	A	103,4	0,01	B C	106,8	0,04	A B
50	105,6	0,01	B	103,7	0,06	B	113,4	0,04	C
100	104,5	0,05	B	109,3	0,03	C	106,3	0,03	A B
200	105,2	0,04	B	108,4	0,00	B C	109,9	0,01	B C

Obs.: Experimentos realizado com mesmo número de réplicas ($n = 3$). Estatisticamente significativa para $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$).

Os diferentes grupos indicados pelo teste de Duncan mostra que houveram diferenças significativas entre as diferentes doses. Entretanto, estes foram aleatórios e equivalentes. Para esse ensaio o baixo número de réplicas pode ter influenciado nos resultados, não deixando evidente o efeito da radiação na temperatura de deflexão das blendas.

d) Análise Fatorial 2^k

A Tabela 104 mostra de modo simplificado o modelo Fatorial 2², realizado para as blendas PP/PEBD. A escolha dos pares de tratamentos foram aleatórias.

Tabela 104 – Análise Fatorial 2² para as blendas PP/PEBD: Ensaio HDT.

Ensaio	Coleta de Dados			Experimento Fatorial 2 ²		
	FATOR Y (% PEBD)	FATOR Z (Dose)	RESPOSTA (HDT)	FATOR Y (% PEBD)	FATOR Z (Dose)	Interação [Y x Z]
1	20	30	103,4	-	-	+
2	80	30	62,2	+	-	-
3	20	200	108,4	-	+	-
4	80	200	69,8	+	+	+
			$\Sigma'^{-}/2$	105,9	82,8	86,6
			$\Sigma'^{+}/2$	66,0	89,1	85,3
			Efeito	-39,9	+6,3	-1,3

Observa-se, portanto, que ao aumentar a concentração de PEBD (FATOR Y) de um produto com 20% de ConcPEBD e 80% de ConcPP para um produto com 80% de ConcPEBD e 20% de ConcPP, a temperatura de deflexão reduziu em 39,9MPa. Por outro lado, quando a dose de radiação (FATOR Z) for alterada de 30kGy para 200kGy, a temperatura de deflexão aumentou em 6,3MPa. O efeito combinado do aumento da ConcPEBD (com a redução da ConcPP) e aumento de dose foi de -1,3MPa. Graficamente, têm-se:

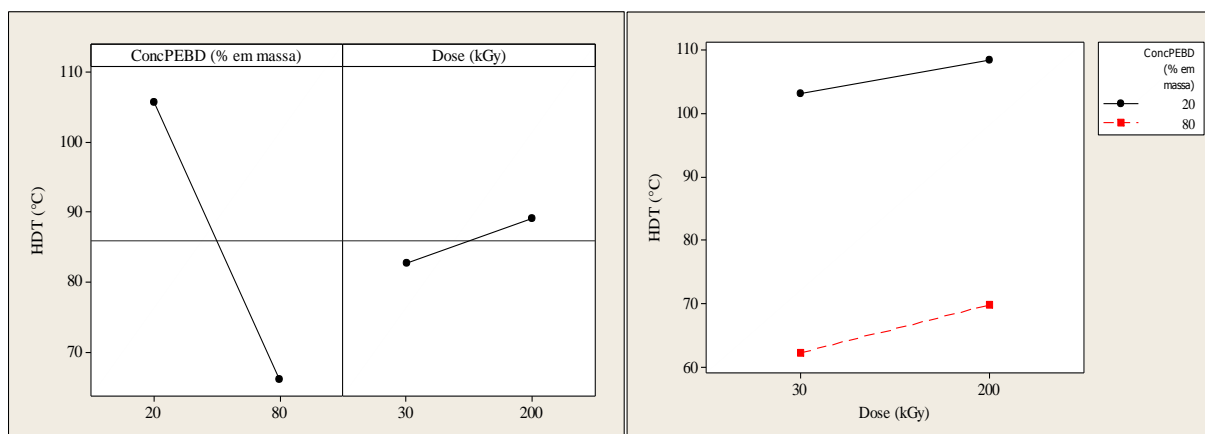


Gráfico 39 – (a) Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a temperatura de deflexão das blendas PP/PEBD. (b) Representação da interação dos fatores (ConcPEBD e Dose) para a temperatura de deflexão das blendas PP/PEBD.

Os resultados da análise fatorial 2^k para p = 2 fatores estão mostrados na Tabela 105.

Tabela 105 – ANOVA: Fatorial 2² para a dureza das blendas PP/PEBD: Ensaio HDT.

Fonte de Variação	Graus Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
Efeitos Principais	2	4.845,79	2.422,89	2.282,16	0,000
ConcPEBD	1	4.720,33	4.720,33	4.446,15	0,000
Dose	1	125,45	125,45	118,17	0,000
Interações 2 ²	1	3,63	3,63	3,42	0,102
ConcPEBD*Dose	1	3,63	3,63	3,42	0,102
Erro Residual	8	8,49	1,06		
Total	11	4.857,9			

Obs. Experimento realizado com 3 réplicas.

A ANOVA informa que os fatores e suas interações foram estatisticamente significante ($p \leq 0,05$), isto é, os fatores Dose, Concentração e a interação foram influentes na propriedade das blendas PP/PEAD.

O gráfico de contorno ou ABACO pode ser observado abaixo.

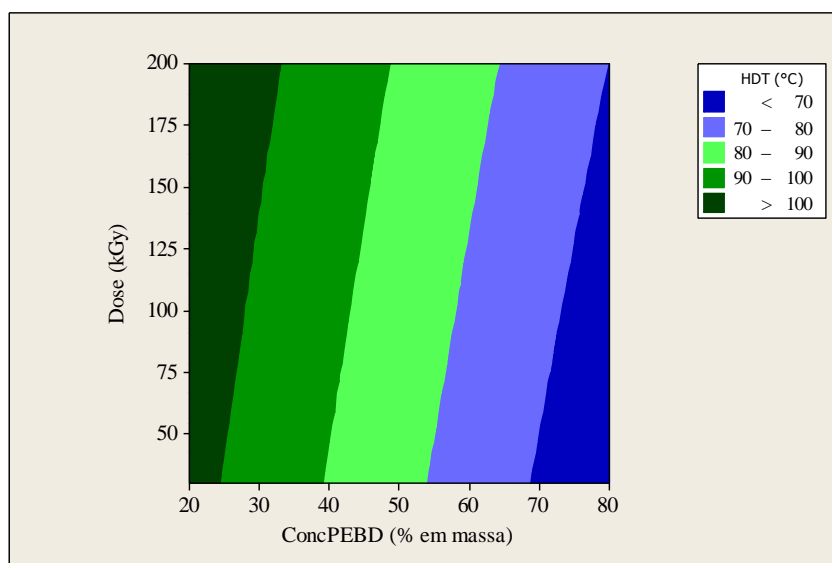


Gráfico 40 – Contorno HDT vs Dose e ConcPEBD.

Através do ABACO é possível analisar a faixa da temperatura de deflexão desejada e a partir daí, estabelecer a dose e concentração dos componentes da blenda.

Conclui-se, que quanto maior a concentração de PEBD menor será a temperatura de deflexão do material. Dose maiores, também, influenciam significativamente no aumento da resistência do material, aumentando a temperatura de deflexão.

4.2.2.3 HDT de blendas PP/PEAD

Os resultados da modelagem estatística para a temperatura de deflexão das blendas PP/PEAD estão descritos a seguir.

a) Análise Descritiva

A Tabela 106 mostra os valores médios da temperatura de deflexão para as blendas PP/PEAD obtidos para diferentes concentrações dos componentes e doses de radiação.

Tabela 106 – Blenda PP/PEAD: Valor médio da temperatura de deflexão e os respectivos desvios padrão para as blendas poliméricas não-irradiada e irradiada a diferentes doses.

Dose	0 kGy		30 kGy		50 kGy		100 kGy		200 kGy	
	HDT (°C)	DP (°C)	HDT (°C)	DP (°C)	HDT (°C)	DP (°C)	HDT (°C)	DP (°C)	HDT (°C)	DP (°C)
Blenda PP/PEAD (%)										
10/90	85,8	2,4	89,7	2,6	93,7	6,8	96,0	2,2	93,3	3,2
20/80	98,3	3,2	93,3	2,2	91,2	2,2	97,7	1,0	97,9	2,5
30/70	102,2	3,4	99,6	4,9	109,7	1,9	110,4	7,1	110,1	4,6
40/60	109,2	4,1	103,3	1,4	105,5	12,2	112,0	7,7	113,6	3,8
50/50	110,6	6,0	107,8	7,3	114,9	0,6	116,0	2,0	114,9	4,1
60/40	111,8	1,6	112,2	2,5	119,3	0,3	117,7	2,0	120,2	0,8
70/30	109,3	3,9	116,1	2,5	110,7	1,2	115,1	2,5	-	0,0
80/20	114,5	2,7	112,9	5,5	107,1	2,6	118,0	2,4	115,1	1,6
90/10	110,2	3,5	111,5	6,5	114,7	0,2	117,3	1,3	120,5	1,1

Obs. Experimento realizado com 3 réplicas ($n = 3$).

b) Análise de Variância – 2 FATORES

Pela ANOVA foram investigados os efeitos dos 9 níveis do fator ConcPEAD e dos 5 níveis do fator Dose. O resultado da ANOVA estão descritos na Tabela 107.

Tabela 107 – ANOVA com 2 fatores para blendas PP/PEAD.

HDT versus ConcPEAD; Dose.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
ConcPEAD	8	9.154,0	1.144,24	72,31	0,000
Dose	4	971,6	242,90	15,35	0,000
Interação	32	811,8	25,37	1,60	0,043
Erro	90	1.424,1	15,82		
TOTAL	134	12.361,5			

Observa-se, pela Tabela 107, que existe evidências em nível de significância estatística de 95% ($p \leq 0,05$) de que os fatores influenciaram na propriedade (HDT) das blendas PP/PEAD.

Os efeitos e interação dos fatores podem ser visualizados nos Gráficos 41a e 41b.

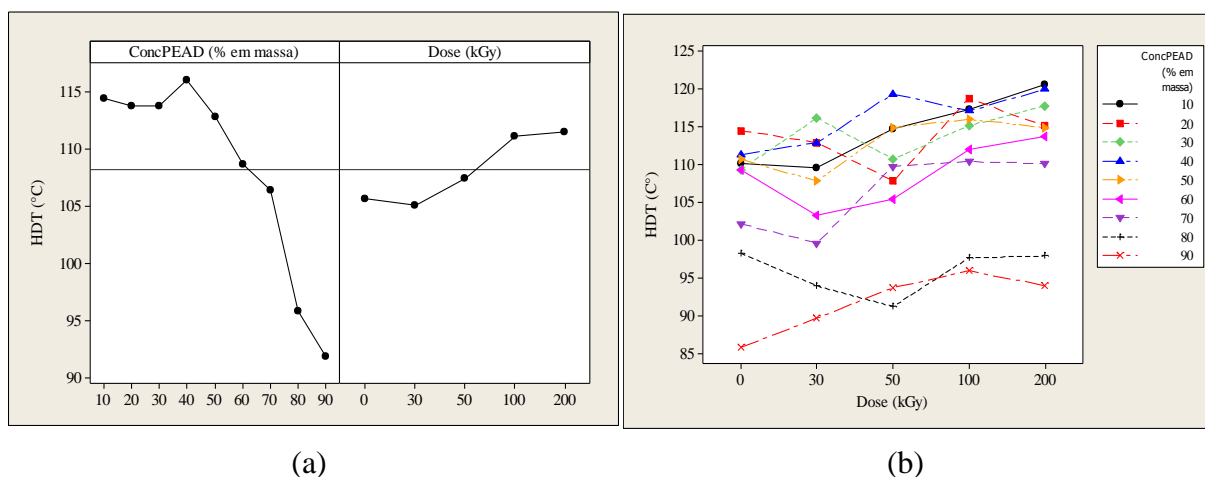


Gráfico 41 – (a) Efeitos dos fatores principais na temperatura de deflexão das blendas PP/PEAD. (b) Efeito da interação dos fatores na temperatura de deflexão das blendas PP/PEAD.

c) Método de Duncan

A Tabela 108 mostra as diferenças dos pares das médias da temperatura de amolecimento para as blendas PP/PEAD, através de grupos nomeados como A, B, C e D.

Tabela 108 – Teste de Duncan: Comparação entre médias das blendas PP/PEAD (% em massa): Ensaio HDT.

PP/PEAD (%)	10/90			20/80			30/70		
Dose (kGy)	HDT (°C)	CV (%)	Teste Duncan	HDT (°C)	CV (%)	Teste Duncan	HDT (°C)	CV (%)	Teste Duncan
3,2	85,8	0,03	A	98,3	0,03	B	102,2	0,03	A B
30	89,7	0,03	A B	93,3	0,02	A	99,6	0,05	A
50	93,7	0,07	B	91,2	0,02	A	109,7	0,02	B
100	96,0	0,02	B	97,7	0,01	B	110,4	0,06	B
200	93,3	0,03	B	97,9	0,03	B	110,1	0,04	B
PP/PEAD (%)	40/60			50/50			60/40		
Dose (kGy)	HDT (°C)	CV (%)	Teste Duncan	HDT (°C)	CV (%)	Teste Duncan	HDT (°C)	CV (%)	Teste Duncan
0	109,2	0,04	A	110,6	0,05	A	111,8	0,01	A
30	103,3	0,01	A	107,8	0,07	A	112,2	0,02	A
50	105,5	0,12	A	114,9	0,01	A	119,3	0,00	B
100	112,0	0,07	A	116,0	0,02	A	117,7	0,02	B
200	113,6	0,03	A	114,9	0,04	A	120,2	0,01	B
PP/PEAD (%)	70/30			80/20			90/10		
Dose (kGy)	HDT (°C)	CV (%)	Teste Duncan	HDT (°C)	CV (%)	Teste Duncan	HDT (°C)	CV (%)	Teste Duncan
0	109,3	0,04	A	114,5	0,02	B	110,2	0,03	A
30	116,1	0,02	B	112,9	0,05	A B	111,5	0,06	A
50	110,7	0,01	A	107,1	0,02	A	114,7	0,00	A B
100	115,1	0,02	B	118,0	0,02	B	117,3	0,01	B
200	-	-	-	115,1	0,01	B	120,5	0,01	B

Obs.: Experimentos realizado com mesmo número de réplicas ($n = 3$). Estatisticamente significativo para $\alpha = 5\%$ ($p \leq 0,05$).

Observa-se que a radiação não foi suficiente para provocar alterações nas blendas 10/90, 20/80, 30/70, 40/60, 50/50, 80/20 e 90/10.

Para as blendas 60/40, 70/30 a dose de 30kGy foi significativa para o aumento da temperatura de deflexão do material.

d) Análise Fatorial 2^k

A Tabela 109 mostra de modo simplificado o modelo Fatorial 2^2 , realizado, para as blendas PP/PEAD.

Tabela 109 – Análise Fatorial 2^2 para as blendas PP/PEAD: Ensaio HDT.

Ensaio	Coleta de Dados			Experimento Fatorial 2^2		
	FATOR W (% PEAD)	FATOR Z (Dose)	RESPOSTA (HDT)	FATORW (% PEBD)	FATOR Z (Dose)	Interação [Y x Z]
1	20	30	112,9	-	-	+
2	80	30	93,3	+	-	-
3	20	200	115,1	-	+	-
4	80	200	97,9	+	+	+
			$\Sigma^{-}/2$	114,0	103,1	104,2
			$\Sigma^{+}/2$	95,6	106,5	105,4
			Efeito	-18,4	+3,4	+1,2

Observa-se, portanto, que ao aumentar a concentração de PEAD (FATOR W) de um produto com 20% de ConcPEAD e 80% de ConcPP para um produto com 80% de ConcPEAD e 20% de ConcPP, a temperatura de deflexão reduziu em 18,4MPa. Por outro lado, quando a dose de radiação (FATOR Z) for alterada de 30kGy para 200kGy, a temperatura de deflexão aumentou em 3,4MPa. O efeito combinado de aumento da ConcPEAD (com a redução da ConcPP) e aumento de dose foi de 1,2MPa. Graficamente, têm-se:

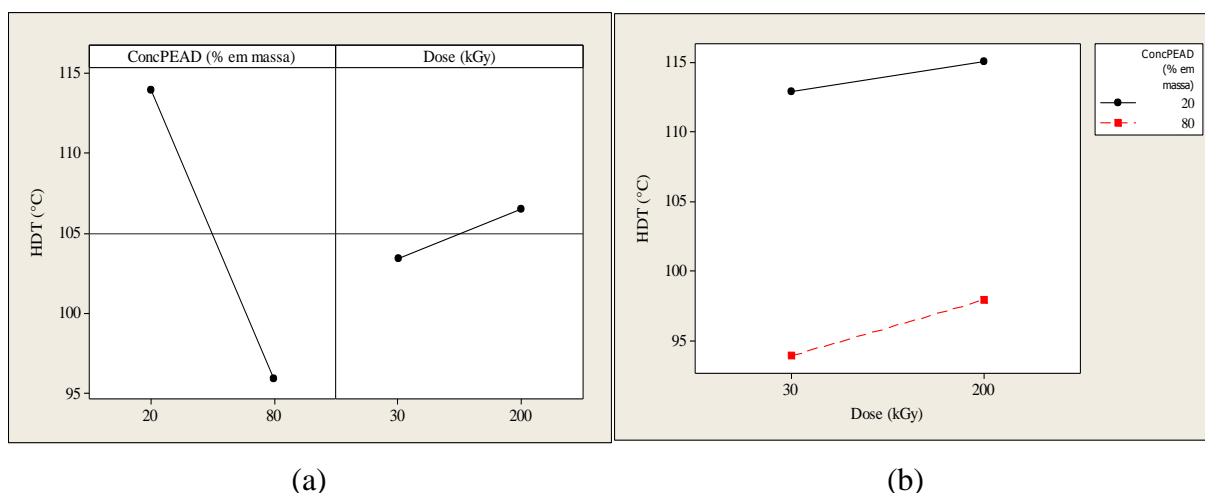


Gráfico 42 – (a) Representação dos efeitos dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a temperatura de deflexão das blendas PP/PEAD. (b) Representação da interação dos fatores (ConcPEAD e Dose) para a temperatura de deflexão das blendas PP/PEAD.

Para verificar se esses efeitos dos fatores e a interação são devido ao acaso ou se são estatisticamente significantes, utilizou-se do delineamento de experimento para a análise fatorial 2^k para $p = 2$ fatores. Os resultados são mostrados na Tabela 110.

Tabela 110 – ANOVA: Fatorial 2² para a temperatura de deflexão das blendas PP/PEAD:

Ensaio HDT.

Fonte de Variação	Graus Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Teste F	Valor-p
Efeitos Principais	2	1.005,93	502,96	46,67	0,000
ConcPEAD	1	977,41	977,41	90,69	0,000
Dose	1	28,52	28,52	2,65	0,142
Interações 2 ²	1	2,52	2,52	0,23	0,642
ConcPEAD*Dose	1	2,52	2,52	0,23	0,642
Erro Residual	8	86,22	10,78		
Total	11	1.094,67			

Obs. Experimento realizado com 3 réplicas.

A ANOVA informa que os fatores e suas interações foram estatisticamente significante ($p \leq 0,05$), isto é, os fatores Dose, Concentração e a interação foram influentes na propriedade das blendas PP/PEAD.

O gráfico de contorno ou ABACO pode ser observado abaixo.

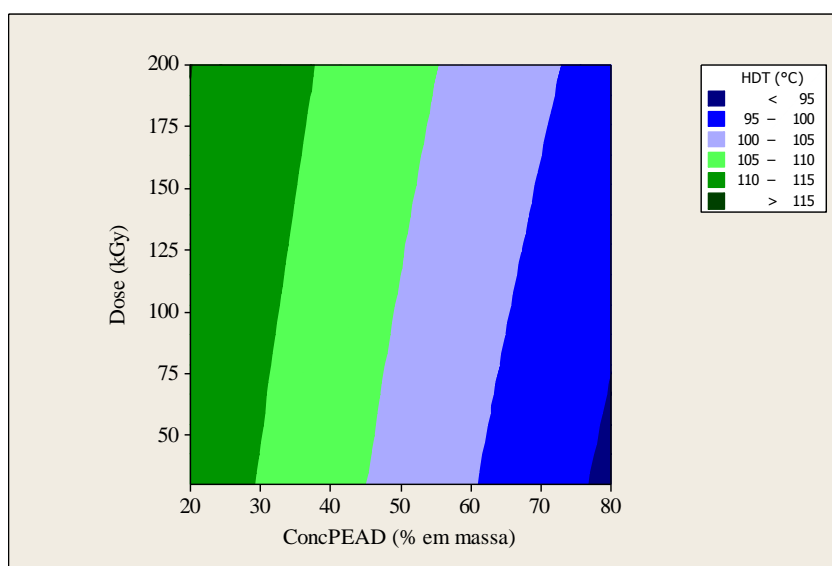


Gráfico 43 – Contorno HDT vs Dose e ConcPEAD.

Conclui-se, que quanto menor a quantidade de PEBD na blenda maior será a temperatura de deflexão. E doses maiores são significantes para causarem alterações na temperatura.

5 CONCLUSÕES

A análise estatística auxiliou na visualização dos efeitos e interações dos fatores sob as blendas PP/PEBD e PP/PEAD. Para cada tipo de propriedade obteve-se um resultado específico.

As modificações ocorridas estavam diretamente relacionadas aos fatores: dose e concentração. As blendas apresentaram boas propriedades mecânicas e termomecânicas, intermediárias a às propriedades de seus componentes puros, revelando-se materiais resistentes e de baixo custo, implicando em uma excelente alternativa para a reciclagem desses materiais.

A radiação ionizantes influenciou a compatibilidade das blendas visto que houve melhora nas propriedades do material.

No ensaio de resistência à tração a radiação não foi suficiente para alterar a propriedade do PEBD. Entretanto, para o PP a aplicação de 50kGy e para PEAD a aplicação de 30kGy provocaram um aumento de aproximadamente 10% na resistência à tração desses polímeros. A mistura do PP ao PEBD melhorou a resistência do material quando esta estava na proporção de 90/10 e não irradiado, apresentando resistência inferior, porém, próxima do PP puro não irradiado. Ao misturar o PP com PEAD, obteve-se um aumento de 13% na resistência do material em relação ao PP puro não irradiado nas proporções de 70/30 e 30kGy.

No ensaio de resistência à flexão a radiação não foi satisfatória para modificar a propriedade do PP e PEAD. No entanto, uma dose de 30kGy aumentou em 27% a resistência do PEBD. A mistura de 90% de PP e 10% PEBD irradiada com 30kGy foi a que apresentou melhor resistência à flexão com aumento de 2% em relação ao PP puro não irradiado. E a blenda PP/PEAD obteve um aumento de 8% na resistência quando aplicado uma dose de 30kGy nas proporções de 70/30, em relação ao PP puro não irradiado.

No ensaio de resistência ao impacto Izod a radiação não foi suficiente para alterar a propriedade do PEBD e PEAD, visto que estatisticamente, os resultados não foram significativamente diferentes. Para o PP houve um aumento de 20% quando submetido a radiação de 30kGy. A blenda PP/PEBD, nas proporções de 10/90, irradiada com dose de 30kGy apresentou um aumento significativo na resistência, quando comparada com a propriedade do PP puro não irradiado. Para a blenda PP/PEAD, a melhor resistência pode ser observada na proporção de 10/90 não irradiada.

No ensaio de resistência a dureza Shore D observou-se uma melhora de aproximadamente 9% na propriedade do PP e PEAD quando estes polímeros foram submetidos

a radiação de 30kGy. A dose de 200kGy aumentou a resistência do PEBD em 13%. A mistura PP/PEBD nas proporções de 40/60 e irradiada com 200kGy apresentou um aumento de 8% em relação ao PP puro não irradiado. As blendas PP/PEAD nas proporções de 10/90 e 30/70, ambas não irradiadas foram as que apresentaram melhores resistência a dureza.

O PP puro não sofreu alterações na temperatura de amolecimento com a irradiação, entretanto, o PEBD teve sua temperatura elevada em 4% após ser irradiada com 100kGy e o PEAD aumento de 2% com a dose de 30kGy. O maior aumento da temperatura de amolecimento ocorreu na blenda 90/10 não irradiada, tanto para a mistura de PP com PEBD, quando para a mistura de PP com PEAD. Com aumento de 1% na propriedade para a blenda PP/PEAD em relação ao PP puro não irradiado.

Para a temperatura de deflexão sob carga, a radiação de 100kGy foi suficiente para aumentar em 10% o valor de PEBD. Para o PP e PEAD não observou alteração significativa na propriedade. A blenda PP/PEBD na proporção de 90/10 e dose de 50kGy apresentou a maior temperatura. Para a blenda PP/PEAD a proporção de 70/30 irradiada à 30kGy indicou um aumento de 1% em relação ao PP puro não irradiado.

Para prosseguimento da pesquisa, sugere-se realizar análises microscópicas, espectroscópicas e térmicas para identificar a efetiva compatibilidade e cristalinidade das blendas.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST – Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Perfil 2012**. Disponível em: <http://file.abiplast.org.br/download/estatistica/perfil2012_versao_eletronica.pdf>. Acesso em 20 de novembro 2013.

ADIRPLAST – Associação Brasileira dos Distribuidores de Resinas e Bobinas Plásticas de BOPP e BOPET. **Desempenho do setor de resinas no Brasil: 2012**. Disponível em: <<http://www.adirplast.com.br/adirplast-estatisticas.html>>. Acesso em 20 de novembro de 2012.

ANDRADE, W. **Uso da radiação ionizante em polímeros de embalagens: conhecimento social: uma análise qualitativa**. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações). Instituto e Pesquisa Energéticas e Nucleares – IPEN. São Paulo, 2011.

ALFARO, E. F. **Estudos da Utilização da Cinza de Casca de Arroz como Carga em Matriz de Polipropileno e do Efeito da Radiação Ionizante sobre este Compósito**. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN. São Paulo, 2010.

ARGONE NATIONAL LABORATORY, EVS. *Ionizing Radiation*. U. S. A.: *Human Health Fact Sheet, August 2005*.

ARTEL, B. W. H. **Radiação: efeitos da radiação em polímeros**. Revista Plástico Moderno. São Paulo: Editora QD, nº 312, agosto de 2000.

ASTM D256 – *Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics*.

ASTM D638 – *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*.

ASTM D648 – *Standard Test Method for Deflection Temperature of Plastics Under Flexural Load in the Edgewise Position*.

ASTM D790 – *Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*.

ASTM D1525 – *Standard Test Method for Vicat Softening Temperature of Plastics*.

ASTM D2240 – *Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness*.

ASTM D4440 – *Standard Test Method for Plastics: Dynamic Mechanical Properties Melt Rheology*.

ASTM D7399 - *Standard Test Method for Determination of the Amount of Polypropylene (PP) in Polypropylene/LDPE Mixtures Using Infrared Spectrophotometer (FTIR)*.

BETTINI, S. H. P. **Estudo do efeito da radiação gama sobre as propriedades de blendas baseadas em polipropileno isotático**. Tese (Mestre em Engenharia Química). Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Campinas/SP, 1992.

BLOM, H. P.; TEH, J. W.; BREMNER, T.; RUDIN, A. *Isothermal and non-isothermal crystallization of PP: effects annealing and of the addition of HDPE*. Canada: Elsevier Science. *Polymer*, Vol. 39, No 17, p. 4011-4022, 1998.

BUSHBERG, J. T.; SEIBERT, J. A.; LEIDHOLDT Jr., E. M.; BOONE, J. M. *The essential physics of medical imaging*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1st edition, p. 17-58, 1994.

CALEGARE, A. J. A. **Introdução ao delineamento de experimentos**. 2. ed. revisada e atualizada. São Paulo: Edgard Blucher, p.27-31, p.37-89, 2009.

CARDOSO, E. C. L. **Desenvolvimento de Espumas a Partir de Misturas Poliméricas de Polipropileno Linear (PP) e Polipropileno de Alta Resistência do Fundido (HMSPP)**. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN. São Paulo, 2009.

CHAUDHARI, C. V.; DUBEY, K. A.; BHARDWAJ, Y. K.; NAXANE, G. SARMA, K. S. S.; SABHARWAL, S. *Effect of electron beam radiation on the polypropylene/polyethylene blends: radiation stabilization of polypropylene*. India: Elsevier Science. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, Vol. 263, p. 451-457, 2007.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; MARIA, L. C. S. **Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações**. Rio de Janeiro: Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 13, n. 1, jan. p.13, 2003.

CUNICO, M. W. M.; CUNICO, M. M. MIGUEL, O. G.; ZAWADZKI, S. F.; PERALTA-ZAMORA, P.; VOLPATO, N. **Planejamento fatorial: uma ferramenta estatística valiosa**

para a definição de parâmetros experimentais empregados na pesquisa científica. Curitiba: Visão Acadêmica, v.9, n.1, p. 23-31, Jan-Jun/2008.

DROBNY, J. G. *Modification of polymer by ionizing radiation: a review*. USA: ANTEC. Drobny Polymer Associates Merrimack. p. 2465-2469. 2006.

FERNANDES, L. L. **Obtenção da blenda polipropileno reprocessado/poliestireno de alto impacto e seu comportamento diante a radiação UV**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

FERREIRA, P. V. **Análise de variância** – Capítulo 4. CECA – UFAL, p. 105-116, 2011.

FINUCANE, E. W. *Definitions, conversions, and calculations for occupational safety and health Professionals*. USA: Florida, CRC Press LLC, 2nd ed., chapter 7, 1998.

HASSAN, M. M.; EL-KELESH, N. A.; DESSOUKI, A. M. *The effect of gamma and electron beam irradiation on the thermal and mechanical properties of injection-moulded high crystallinity poly(propylene)*. Cairo – Egypt: Society of plastics engineers. *Polymer Composites*, Vol. 29, No 8, p. 883-889, 2008.

Hill, D. J. T.; WHITTAKER, A. K. *Radiation Chemistry of Polymers*. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. Australia: John Wiley & Sons, p. 5, 2005.

ITO, E. N.; PESSAN, L. A.; HAGE JR., E.; COVAS, J. A. **Análise do desenvolvimento morfológico da blenda polimérica PBT/ABS durante as etapas de mistura por extrusão e moldagem por injeção**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 14, nº 2, p. 83-92, 2004.

JOSE, S.; APREM, A. S.; FRANCIS, B.; CHANDY, M. C.; WERNER, P.; ALSTAEDT, V.; THOMAS, S. *Phase morphology, crystallization behavior and mechanical properties of isotactic polypropylene/high density polyethylene blends*. India/Germany: Elsevier Science. *European Polymer Journal*, Vol. 40, No 9, p. 2105-2115, 2004.

LI, J.; SHANKS, A. R.; OLLEY, R. H.; GREENWAY, G. R. *Miscibility and isothermal crystallization of polypropylene in polyethylene melts*. UK: Elsevier Science. *Polymer*, Vol. 42, p. 7685-7694, 2001.

MAIER, C.; CALAFUT, T. **Polypropylene: the definitive user's guide and databook**. New York: Plastics design library, p.3-9, p.11-13, p.331-335, 1998.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, p. 268-274, p. 281-282, p. 284-289, p.297-310, 2003.

MOORE JR, E. P. ***Polypropylene Handbook: Polymerization, characterization, properties, processing, applications***. Munich: Hanser, p.3-9, p.209, p.218-220, 1996.

MUNARO, M. **Desenvolvimento de blendas de polietileno com desempenho aperfeiçoado para utilização no setor elétrico**. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências dos Materiais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

PIGATTO, C. **Polipropileno e Blendas PP/EPDM Reforçadas com Fibras Curtas de Sisal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

PINO, E. S.; GIOVEDI, C. **Radiação ionizante aplicada ao processamento de polímeros**. São Paulo/SP: Revista UNILUS Ensino e Pesquisa, nº 5, v. 3, p. 7-10, jul/dez 2006.

PLASTIVIDA – Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos. Notícia: **Brasil reciclou cerca de 22% dos plásticos pós-consumo em 2011**. Publicada em 13 de novembro de 2012. Disponível em: http://www.plastivida.org.br/2009/Noticias_2012_058.aspx>. Acesso em 13 de jan. 2013.

QUENTAL, A. C.; CARVALHO, F. P.; TADA, E. S.; FELISBERTI, M. I. **Blendas de PHB e seus compolímeros: miscibilidade e compatibilidade**. Campinas/SP: Química Nova, vol.33, no.2, 2010.

ROBESON, L. M. ***Polymer Blends: a comprehensive review***. Munich: Hanser, Cincinnati: Hanser Gardner. 2007.

ROSA, D. S. **Modificação de polietileno de baixa densidade, polipropileno isotático e suas blendas, por radiação gama**. Tese de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas-SP, 1991.

ROSÁRIO, F.; PACHEKOSKI, W. M.; SILBEIRA, A. P. J.; SANTOS, S. F. HOLMER JR., S.; CESARIN, S. A. São Paulo: **Resíduos de Sisal como Reforço em Compósitos de Propileno Virgem e Reciclado**. Polímeros, vol. 21, n. 2, p. 90-97, Epub April 29, 2011.

ROSSINI, E. L. **Obtenção da Blenda Polimérica PET/PP/PE/EVA a Partir de “Garrafas PET” e Estudo das Modificações Provocadas pela Radiação Ionizante**. Tese (Doutorado

em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN. São Paulo, 2005.

RUIZ, F. C.; TERENCE, M. C. **Estudo das Propriedades de Blendas de Polipropileno e Polietileno Submetidos à Radiação Gama**. Porto de Galinhas - PE. 18° CBECiMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 24 a 28 de nov. 2008.

RUIZ, F. C.; TERENCE, M. C. **Efeito da radiação gama na blenda de polipropileno e polietileno destinada à produção de artigos obtidos por processo de termoformagem, moldagem por injeção e moldagem por sopro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2009.

SHANKS, R. A.; LI, J.; YU, L. *Polypropylene-polyethylene blend morphology controlled by time – temperature – miscibility*. Australia: Elsevier Science. *Polymer*, Vol. 41, p. 2133-2139, 2000.

SPADARO, G.; VALENZA, A. *Calorimetric analysis of an isotactic polypropylene gamma-irradiated in vacuum*. Italy: Akadémiai Kiadó. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 61, p. 589-596, 2000.

SPADARO, G.; RIZZO, G.; ACIERNO, D.; CALDERARO, E. *Tensile properties of γ -irradiated LDPE-iPP blends*. Italy: *Radiat. Phys. Chem.* Vol. 23, nº.4, pp. 445-448, 1984.

TERENCE, M. C. **Obtenção de um sistema de liberação controlada de drogas a partir do PVAL irradiado com radiação gama**. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN. São Paulo, 2002.

TEH, J. W.; BLOM, H. P.; RUDIN, A. *A study on the crystallization behaviour of polypropylene, polyethylene and their blends by dynamic mechanical and thermal methods*. Canada: Butterworth-Heinemann. *Polymer*, Vol. 35, No 8, 1994.

THORAT, H. B.; PRABHU, C. S.; KUMAR, S.; PANDYA, M. V. *γ -Ray-induced degradation in ethylene-propylene copolymer*. India: John Wiley & Sons. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 59, p. 1769-1773, 1996.

UTRACKI, L. A. *Polymer Blends Handbook*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, vol. 2, p.757, 786-788, 2002.

UTRACKI, L. A. *Polymer Alloys and Blends: thermodynamics and rheology*. Munich: Hanser Publishers. p. 205-207, 1989.

USP-CENA/PCLQ. **Equipamentos utilizados para irradiação de alimentos e/ou outros materiais**. Disponível em: <<http://www.cena.usp.br/irradiacao/irradiador.htm>>. Acesso em 16 de novembro de 2002.

VALSANI, F. **Polietileno**: 30 anos de Brasil. São Paulo: Rios, 1988.

WAS, G. S. *Fundamentals of Radiation Materials Science: Metal and Alloys*. U.S.A.: Springer, 2007.

WIEBECK, H.; HARADA, J. **Plásticos de Engenharia**: Tecnologia e Aplicações. São Paulo: Artliber, p.19, p.37-49, p.163-168, 2005.

WONG, A. C. Y.; LAM, F. *Study of selected thermal characteristics of polypropylene/polyethylene binary blends using DSC and TGA*. China: Elsevier Science. *Polymer Testing*, Vol. 21, p. 691-696, 2002.

ZHOU, X.; HAY, J. N. *Structure-property relationships in annealed blends of linear low density polyethylene with isotactic polypropylene*. United Kingdom: Butterworth-Heinemann. *Polymer*, Vol. 34 No 22, p. 4710-4716, 1993.

ANEXO I



Folha de Dados

Revisão 11 (Novembro/12)

Polipropileno H 306

Subfamília:

Homopolímero

Descrição:

O H 306 é um polipropileno homopolímero de médio índice de fluidez, com distribuição ampla de peso molecular, aditivado para uso geral. É indicado para processos de moldagem por injeção e extrusão de fibras. Este produto apresenta excelente processabilidade com boa estabilidade do fundido, bom balanço rigidez/impacto e baixa transferência de odor e sabor.

Aplicações:

Utilidades domésticas; Tampas com lacre ou *flip-top*; Tampas injetadas para uso geral; Fibra cortada para carpetes e cobertores; Filamentos contínuos para fios de média tenacidade.

Processo:

Moldagem por Injeção

Extrusão de Fibras

Propriedades de Controle:

	Método ASTM	Unidades	Valores
Índice de Fluidez (230°C/2,16 kg)	D 1238	g/10 min	15

Propriedades Típicas^a:

	Método ASTM	Unidades	Valores
Densidade	D 792	g/cm ³	0,905
Módulo de Flexão Secante a 1%	D 790	MPa	1300
Resistência à Tração no Escoamento	D 638	MPa	33
Alongamento no Escoamento	D 638	%	13
Dureza Rockwell (Escala R)	D 785	-	99
Resistência ao Impacto Izod a 23°C	D 256	J/m	25
Temperatura de Deflexão Térmica a 0,455 MPa	D 648	°C	94
Temperatura de Deflexão Térmica a 1,820 MPa	D 648	°C	53
Temperatura de Amolecimento Vicat a 10 N	D 1525	°C	153

a) Ensaios em corpo de prova moldado por injeção conforme ASTM D 4101

Observações Finais:

1. Esta resina atende à regulamentação FDA (*Food and Drug Administration*) para polímeros olefinicos do CFR 21 seção 177.1520, vigente na data de publicação desta especificação. Os aditivos presentes são sancionados por regulamentação apropriada do FDA.
2. As informações aqui contidas são dadas de boa fé, indicando valores típicos obtidos em nossos laboratórios, não devendo ser consideradas como absolutas ou como garantia. Apenas as propriedades e os valores que constam do certificado de qualidade devem ser considerados como garantia do produto.
3. Em algumas aplicações a Braskem tem desenvolvido resinas *tailor-made* para alcançar características específicas.
4. Em caso de dúvida na utilização ou para discutir outras aplicações, entre em contato com a Área de Serviços Técnicos.
5. Para informações de segurança, manuseio, proteção individual, primeiros socorros e disposição de resíduos, consultar a FISPQ – Folha de Informações de Segurança de Produtos Químicos. Número de registro no CAS: 9003-07-0.
6. Os valores constantes nesse documento poderão sofrer alterações sem comunicação prévia da Braskem.
7. A Braskem não recomenda o uso desse produto para fabricação de embalagens, peças ou qualquer outro tipo de produto, que será utilizado para o armazenamento ou contato com soluções parenterais ou que terá qualquer tipo de contato interno com o corpo humano.
8. Esta resina não contém a substância Bisfenol A (BPA, CAS#80-05-7) em sua composição.

ANEXO II



Folha de Dados
Revisão 5 (Ago/12)

Polietileno de Baixa Densidade PB681/59

Descrição:

O PB681/59 é uma resina produzida sob alta pressão, em reator tubular. Esta resina possui excelente 'draw down' (estabilidade para formar filmes finos). Os filmes obtidos a partir desta resina apresentam ótimas propriedades óticas.

Aditivação:

-Deslizante
-Antibloqueio

Aplicações:

Empacotamento automático para produtos sólidos; laminação.

Processo:

Extrusão de Filmes Tubulares

Propriedades de Controle:

	Método ASTM	Unidades	Valores
Índice de Fluidez (190/2,160)	D 1238	g/10 min	3,8
Densidade	D 1505	g/cm ³	0,922

Propriedades Típicas:

Propriedades de Referência do Filme Soprado^a

	Método ASTM	Unidades	Valores
Tensão de Ruptura (DM/DT)	D 882	MPa	30/20
Alongamento de Ruptura (DM/DT)	D 882	%	340/1050
Resistência ao Impacto de Dardo	D 1709	g/F50	60
Resistência ao Rasgo Elmendorf (DM/DT)	D 1922	gF	ND ^b /100
Opacidade	D 1003	%	5
Brilho – Ângulo 60°	D 2457	%	112

(a) Filme de 38 µm de espessura, obtido em extrusora de 75 mm, com razão de sopro de 2:1, abertura da matriz 1,0 mm (DM = Direção de Extrusão e DT = Direção Transversal à Extrusão);

(b) Não Determinado

Condições de Processamento Recomendadas:

Extrusão de Filmes Tubulares

-Tipo de Extrusora:

Rosca - relação L/D, 16 a 30:1

Razão de compressão, 3 a 4:1

- Jogo de Telas Filtro (Mesh), 40/60/40 -extrusoras verticais

- Perfil de Temperatura para extrusora horizontal:

1ª zona, 110°C

Do Canhão até o adaptador, 140°C

Matriz, 150°C

- Razão de Sopro:, de 2 a 3:1

- Altura da Linha de Neve, no máx equivalente ao Diâmetro do Balão

Observações Finais:

- Esta resina atende à regulamentação FDA (Food and Drug Administration) para polímeros olefinicos do CFR 21 seção 177.1520, vigente na data de publicação desta especificação. Os aditivos presentes são sancionados por regulamentação apropriada do FDA. Os aditivos presentes são sancionados por regulamentação apropriada do FDA.
- As informações aqui contidas são dadas de boa fé, indicando valores típicos obtidos em nossos laboratórios, não devendo ser consideradas como absolutas ou como garantia. Apenas as propriedades e os valores que constam do certificado de qualidade devem ser considerados como garantia do produto.
- Em algumas aplicações, a Braskem tem desenvolvido resinas tailor-made para alcançar características específicas.
- Em caso de dúvida na utilização ou para discutir outras aplicações, entre em contato com a Área de Serviços Técnicos.
- Para informações de segurança, manuseio, proteção individual, primeiros socorros e disposição de resíduos, consultar a FISPQ - Folha de Informações de Segurança de Produtos Químicos. Número de registro no CAS: 009002-88-4.
- Os valores constantes nesse documento poderão sofrer alterações sem comunicação prévia da Braskem.
- A Braskem não recomenda o uso desse produto para fabricação de embalagens, peças ou qualquer outro tipo de produto, que será utilizado para o armazenamento ou contato com soluções parenterais ou que terá qualquer tipo de contato interno com o corpo humano.
- As informações aqui contidas cancelam as anteriormente emitidas para este produto.
- Esta resina não contém a substância Bisfenol A (BPA, CAS#80-05-7) em sua composição.

ANEXO III



Folha de Dados

Revisão 6 (Ago/12)

Polietileno de Alta Densidade HC7260LS-L

Descrição:

A resina HC7260LS-L é um polietileno de alta densidade desenvolvido para o segmento de injeção. Possui densidade, dureza e rigidez elevados. Sua distribuição estreita de massa molar resulta em baixa tendência à deformação. Esta resina é aditivada contra a ação da radiação ultravioleta.

Aplicações:

Caixaria, Caixas para uso industrial, Capacetes, Assentos sanitários, Utilidades domésticas, Brinquedos, Tampas e Paletes.

Processo:

Moldagem por Injeção

Propriedades de Controle:

	Método ASTM	Unidades	Valores
Índice de fluidez (190/2,16)	D 1238	g/10 min	7,2
Densidade	D 792	g/cm ³	0,959

Propriedades Típicas:

Propriedades de Referência de Placa^a

	Método ASTM	Unidades	Valores
Resistência à Tração no Escoamento	D 638	MPa	30
Alongamento no Escoamento	D 638	%	7,5
Módulo de Flexão Secante a 1%	D 790	MPa	1350
Dureza Shore D	D 2240	-	64
Resistência ao Impacto Izod	D 256	J/m	35
Resistência à Quebra sob Tensão Ambiental ^b	D 1693	h/F50	< 4
Temperatura de Amolecimento Vicat a 10 N	D 1525	°C	126
Temperatura de Deflexão Térmica a 0,455 MPa	D 648	°C	76

(a) Placa moldada por compressão pelo Método ASTM D 4703.

(b) Condições: 100% Igepal, placa de 2 mm, com entalhe de 0,3 mm, 50°C.

Observações Finais:

- Esta resina atende à regulamentação FDA (Food and Drug Administration) para polímeros olefinicos do CFR 21 seção 177.1520, vigente na data de publicação desta especificação. Os aditivos presentes são sancionados por regulamentação apropriada do FDA.
- As informações aqui contidas são dadas de boa fé, indicando valores típicos obtidos em nossos laboratórios, não devendo ser consideradas como absolutas ou como garantia. Apenas as propriedades e os valores que constam do certificado de qualidade devem ser considerados como garantia do produto.
- Em algumas aplicações, a Braskem tem desenvolvido resinas *tailor-made* para alcançar características específicas.
- Em caso de dúvida na utilização ou para discutir outras aplicações, entre em contato com a Área de Serviços Técnicos.
- Para informações de segurança, manuseio, proteção individual, primeiros socorros e disposição de resíduos, consultar a FISPQ – Folha de Informações de Segurança de Produtos Químicos. Número de registro no CAS: 25087-34-7.
- Os valores constantes nesse documento poderão sofrer alterações sem comunicação prévia da Braskem.
- A Braskem não recomenda o uso desse produto para fabricação de embalagens, peças ou qualquer outro tipo de produto, que será utilizado para o armazenamento ou contato com soluções parenterais ou que terá qualquer tipo de contato interno com o corpo humano.
- As informações aqui contidas cancelam as anteriormente emitidas para este produto.
- Esta resina não contém a substância Bisfenol A (BPA, CAS#80-05-7) em sua composição.