Patricia Borba Werner

**Análise de um Biopolímero para Desenvolvimento de
Escova Dental**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos do Departamento de Engenharia de Materiais da PUC-Rio.

Orientador: José Roberto Moraes d'Almeida

Rio de Janeiro
agosto de 2009

Patricia Borba Werner

**Análise de um Biopolímero para Desenvolvimento de
Escova Dental**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre pelo Programa de
Engenharia de Materiais e de Processos Químicos
da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora
abaixo assinada.

Prof. José Roberto Moraes D’Almeida

Orientador

Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia - PUC-Rio

Prof. Sidnei Paciornik

Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia - PUC-Rio

Prof. Mauro Sayão de Miranda

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Dr. Marcos Henrique de Pinho Maurício

Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia - PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial de Pós-Graduação do Centro Técnico Científico da
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 14 de agosto de 2009

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Patricia Borba Werner

Formação: Graduou-se em Odontologia na UFRJ em 2006. Completou sua Especialização em Dentística na Puc-Rio em 2008. Atualmente, realiza sua segunda graduação em Desenho Industrial.

Ficha Catalográfica

Werner, Patricia Borba

Análise de um biopolímero para desenvolvimento de escova dental / Patricia Borba Werner ; orientador: José Roberto Moraes D'Almeida. – 2009.

87 f. : il. (color) ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia

1. Engenharia de materiais – Teses. 2. Biopolímeros. 3. Poliuretano derivado do óleo de mamona. 4. Polipropileno. 5. Análise térmica dinâmico-mecânica. 6. Escovas dentais. I. D'Almeida, José Roberto Moraes. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia de Materiais. III. Título.

CDD: 620.11

Para meus pais, **Angela e Robertson**, pelo apoio e incentivo em todas as etapas da minha formação.

Para meus avós **Alice e Ivan**, pelo carinho e dedicação, sempre.

Sem vocês eu não chegaria até aqui.

Agradecimentos

Ao meu orientador e excelente professor, **José Roberto Moraes d'Almeida**. Obrigada por ser um orientador paciente e prestativo durante todo o curso de mestrado. Agradeço pela cobrança e incentivo nos momentos certos e por compreender as dificuldades que enfrentei por não ser, inicialmente, da área de engenharia de materiais.

Ao excelente professor **Sidnei Paciornik**, pelo qual tive o prazer de ser orientada no início do curso. Foi um dos melhores professores que eu já conheci. Obrigada por transmitir com muita clareza e paciência alguns de seus conhecimentos e também pelo incentivo e orientação quanto ao futuro.

Ao professor **Mauro Sayão de Miranda**, orientador do curso de especialização e co-orientador desta pesquisa. Nunca vou esquecer de todas as portas você abriu, contribuindo muito para o meu crescimento profissional. Obrigada ainda pelo interesse e incentivo poético.

Ao doutor **Marcos Henrique de P. Maurício**, pela ajuda com o seminário de mestrado e pela disponibilidade e paciência na utilização do MEV.

Ao conselho Nacional de Pesquisa – **CNPq** – pela bolsa concedida durante a realização deste mestrado, o que contribuiu para a viabilização desta dissertação.

A minha amiga, **Ana Karla**, pela ajuda em todos os momentos que eu precisei e pelas agradáveis conversas nos intervalos. Obrigada pelo incentivo com relação ao design, o que tem sido essencial e especial na minha vida.

Aos amigos do DCMM, **Cecília, Freddy, Gerônimo, Raphael e Rogério**. Obrigada pelo apoio e companhia nas aulas de termodinâmica, cálculo, processamento de imagens, entre outras.

À Professora **Lavínia Borges** e sua aluna **Silvana**, por abrirem as portas do laboratório no departamento de mecânica da UFRJ. Obrigada pela importante ajuda e boa vontade em todos os momentos na utilização dos equipamentos para os ensaios mecânicos.

À **Ana Lúcia Fampa** pela ajuda com o DMTA, no Laboratório de Análises Térmicas da Escola de Química da UFRJ.

Resumo

Werner, Patricia Borba; d'Almeida, José Roberto Moraes. **Análise de um Biopolímero para Desenvolvimento de Escova Dental**. Rio de Janeiro, 2009, 87p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O uso indiscriminado de polímeros derivados do petróleo como matéria-prima tem resultado no acúmulo de resíduos de lenta biodegradabilidade nos aterros sanitários, pois os plásticos convencionais levam cerca de meio século para serem degradados. Diante desse cenário, o estudo de polímeros derivados de fontes renováveis, os biopolímeros, é totalmente relevante e, em muitos casos, os polímeros derivados do petróleo podem ser substituídos por biopolímeros. Pesquisas apontam a escova dental como um produto ideal para sofrer esta mudança, por ser um produto de uso pessoal rapidamente descartado e por ser, geralmente, produzido a partir do polipropileno (PP), polímero que apresenta lenta biodegradabilidade. Dessa forma, este trabalho multidisciplinar tem como objetivo o desenvolvimento de um protótipo de escova dental fabricado em poliuretano derivado do óleo de mamona, bem como a caracterização desse material a partir de ensaios de absorção de água e de saliva artificial, análise térmica dinâmico-mecânica (DMTA) e ensaios mecânicos de tração, estabelecendo uma comparação com o PP. A partir dos ensaios pode-se concluir que o PU derivado de mamona apresentou absorção de saliva superior à de água e esta, por sua vez, superior ao PP. Com relação a tração, o PP superou o PU em todos os aspectos, mostrando-se um material mais resistente e de maior rigidez. Contudo, concluiu-se que com algumas alterações no *design*, uma escova fabricada em PU derivado do óleo de mamona pode alcançar a mesma carga de ruptura e rigidez estrutural de uma escova convencional.

Palavras-chave

Biopolímero; poliuretano derivado do óleo de mamona; polipropileno; escova dental; escova ecológica; DMTA; absorção de água

Abstract

Werner, Patricia Borba; d'Almeida, José Roberto Moraes (Advisor). **Analysis of a Biopolymer for Development of a Toothbrush**. Rio de Janeiro, 2006, 87p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia de Materiais, Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Indiscriminate use of raw materials by various industries such as polymers from petroleum has been causing an ever-increasing accumulation of slow biodegrading residue materials in sanitary pits. Many modern life utensils are made out of conventional plastic that are estimated to take up to half a century to decompose. In view of this situation, the study of polymers from renewable sources, the biopolymers, is key in the search for alternatives that may decrease the damaging effects on the environment. Petroleum based polymers can in many instances be replaced by biopolymers. Amongst such products, research has been indicating that toothbrush manufacturing can make use of alternative materials. A toothbrush is a personal hygiene device that should be used for relatively short periods. It is commonly made out of polypropylene (PP), a polymer with slow biodegrading characteristics. This study uses a multidisciplinary approach and its objective is the development of a toothbrush handle made out of polyurethane derived from castor oil. Water and artificial saliva absorption, DMTA and traction experiments were carried out to compare chemical and mechanical properties of traditional polypropylene and castor oil polyurethane toothbrushes. From the tests we can conclude that the derivative of castor oil PU showed absorption of saliva superior to water and also superior to PP. With respect to traction, the PP over the PU in all aspects and is a material more resistant and more rigid. However, it was concluded that with some changes in design, a brush made of PU derivative of castor oil might reach the same tensile strength and structural rigidity of a conventional toothbrush.

Keywords

Biopolymer; polyurethane derived from castor oil; polypropylene; toothbrush; ecological toothbrush; DMTA; artificial saliva.

Sumário

1 Introdução	15
2 Revisão bibliográfica	17
2.1. Biopolímeros	17
2.1.1. Escolha do material	22
2.2. Poliuretano	23
2.2.1. Histórico e Aplicações	23
2.2.2. Reação de Polimerização	24
2.2.3. Poliuretano derivado do óleo de mamona	26
2.2.4. Aplicações do PU derivado do óleo de mamona	28
2.3. Escovas dentais	30
2.3.1. Histórico	30
2.3.2. Características das Escovas Dentais	33
2.3.3. Tipos de Escovas Dentais	34
2.3.4. Duração e Troca	40
2.3.5. Contaminação	41
2.3.6. Conservação	41
2.3.7. Tempo de escovação	41
2.3.8. Custo	41
3 Objetivos	43
4 Materiais e Métodos	44
4.1. Materiais	44
4.1.1. Resina de Poliuretano derivado do Óleo de Mamona	44
4.1.2. Silicone para Moldagem	47
4.1.3. Tubo de PVC	48
4.1.4. Escovas-Modelo	49
4.2. Metodologia	51

4.2.1. Moldagem da Escova-Modelo	51
4.2.2. Protótipo da Escova	53
4.2.3. Cinética de absorção de água e saliva artificial	57
4.2.4. Análise térmica dinâmico-mecânica (DMTA)	60
4.2.5. Ensaio de Tração	61
5 Resultados e Discussão	63
5.1. Cinética de absorção de água e de saliva artificial	63
5.1.1. Resultados Experimentais e Discussão	64
5.2. Análise térmica dinâmico-mecânica	70
5.2.1. Resultados experimentais e discussão	70
5.3. Ensaio de tração	74
5.3.1. Resultados experimentais e discussão	74
6 Conclusões	78
7 Referências Bibliográficas	80
8 Apêndice	87

Lista de figuras

Figura 1 – Fiat Concept Car 500 Aria utiliza poliuretano em toda parte interior.	24
Figura 2 – Painel de carro feito em poliuretano.	24
Figura 3 – Reação de formação da uretana.	25
Figura 4 – Reação de formação da poliuretana.	25
Figura 5 – <i>Planta Ricinus communis</i> .	26
Figura 6 – Semente da planta <i>Ricinus communis</i> .	27
Figura 7 – Óleo de mamona obtido por compressão das sementes.	27
Figura 8 – Produtos para telefonia fabricados em PU derivado do óleo de mamona.	28
Figura 9 – Capacete fabricado em PU mamona 80% e fibra de curauá 20%.	29
(Mothé, 2004)	29
Figura 10 – Flocos de resina de mamona (*) circundados por tecido de granulação, com a presença de trabéculas osteóides nas proximidades e sua superfície, indicando neoformação óssea em alvéolo de rato (Calixto, 2001).	30
Figura 11 – Escovas dentais encontradas em escavações na China.	31
Figura 12 - Jovem mostrando o uso da escova dental, Paris, 1889.	32
Figura 13 – Escova aromatizada <i>Colgate Max Fresh</i> .	35
Figura 14 – Imagem de uma escova elétrica em uso.	36
Figura 15 – Escovas dentais com marcadores nas cerdas, sendo que a primeira (azul) apresenta o marcador indicando o momento de troca e a segunda (verde) está nova.	37
Figura 16 – Imagem de uma criança com uma escova dupla.	37
Figura 17 – Ilustração mostrando o uso de uma escova interdental	38
Figura 18 – Alguns tipos de escovas dentais monobloco.	38
Figura 19 – Escova feita de bucha vegetal e bambu sendo utilizada.	39
Figura 20 – Escovas do tipo unitufo da marca <i>Jordan</i> .	39

Figura 21 – Escovas do tipo sulcus e ortodôntica	40
Figura 22 – Recipientes contendo, respectivamente, os dois componentes do PU derivado do óleo de mamona: polioliol (parte A) e pré-polímero (parte B).	47
Figura 23 – Borracha de silicone POLI 1 MX AZUL e catalisador líquido	48
Figura 24 – Tubo de PVC com tampa ao lado da escova modelo.	48
Figura 25 – Escovas dentais modelo <i>REACH</i> ® em suas respectivas embalagens.	49
Figura 26 – Vista frontal das escovas dentais, mostrando o cabo com secção retangular.	50
Figura 27 – Perspectiva das escovas dentais, mostrando o cabo com secção retangular.	50
Figura 28 – Escova com cerdas comparada com a escova-modelo sem as cerdas.	52
Figura 29 – Materiais preparados para iniciar o procedimento de moldagem.	52
Figura 30 – Vista superior do molde pronto, visualização da cópia negativa.	53
Figura 31a e 31b – Recipientes contendo, respectivamente, pré-polímero e polioliol na proporção de 1:1.	54
Figura 31c e 31d – Polioliol e pré-polímero, respectivamente, sendo vertidos no mesmo recipiente plástico.	54
Figura 32a – Componentes sendo misturados no misturador elétrico.	55
Figura 32b – Mistura homogênea sendo vertida, cuidadosamente, no molde.	55
Figura 32c – Tubo de PVC, que envolvia o molde, sendo removido após 24hrs.	55
Figura 33a e 33b – Protótipo sendo, cuidadosamente, removido do molde, após 24 hrs.	56
Figura 33c – Protótipo após 48 horas, antes da fase de polimento.	56
Figura 34a e 34b – Respectivamente, vista frontal e lateral do protótipo após o polimento.	57

Figura 34c – Protótipo final sendo manuseado por um usuário.	57
Figura 35 – Amostras de PU derivado de óleo de mamona para ensaios de absorção.	58
Figura 36 – Dois recipientes contendo, respectivamente, água destilada e saliva artificial.	59
Figura 37 – Disposição das amostras A ₁ , A ₂ e A ₃ suspensas pelos elásticos.	59
Figura 38 – Disposição das amostras S ₁ , S ₂ e S ₃ suspensas pelos elásticos.	59
Figura 39 – Secagem cuidadosa da amostra, utilizando uma folha de papel absorvente.	60
Figura 40 – Amostra sendo pesada na balança digital.	60
Figura 41 - Gráfico ($M_{\%}$ vs. $t^{1/2}$), comparando absorção de água e de saliva artificial para as seis amostras A ₁ , A ₂ , A ₃ , S ₁ , S ₂ e S ₃ .	64
Figura 42 – Gráfico absorção de água (%) vs tempo (hrs) para o PP puro e reforçado com casca de arroz em diferentes proporções (Rosa, 2007).	66
Figura 43 - Gráfico absorção de água (%) vs tempo (hrs) para as três amostras de PU derivado do óleo de mamona desse trabalho.	66
Figura 44 - Gráfico absorção de água (%) vs tempo (dias) para PU puro derivado do óleo de mamona e compósitos de fibra de sisal em diferentes geometrias (Silva,2003).	67
Figura 45 - Gráfico absorção de saliva artificial (%) vs tempo (dias) para duas marcas de resinas compostas (Mayworm, 2005).	68
Figura 46a – Eletromicrografias mostrando a presença de microporosidades nas amostras A ₂ e A ₃ , respectivamente.	69
Figura 46b – Eletromicrografias mostrando a presença de bolhas internas nas amostras A ₂ e A ₃ , respectivamente.	69
Figura 46c – Eletromicrografias mostrando a concentração de vazios na amostra A ₂ , o que não foi encontrado em A ₃ .	70
Figura 47 – Gráfico Módulo de armazenamento, E' (Pa) vs Temperatura (°C) das amostras de PU derivado do óleo de mamona e de PP.	71

Figura 48 – Gráfico Módulo (Pa) vs Temperatura (°C), no qual podem ser observadas as curvas E'' das amostras de PU derivado do óleo de mamona e de PP.	72
Figura 49 – Gráfico de $\tan\delta$ vs Temperatura (°C), no qual podem ser observados comportamentos do PU e do PP.	73
Figura 50 – Gráfico Tensão (MPa) vs Deformação (%), demonstrando o comportamento das amostras submetidas à tração, referente ao primeiro experimento.	75
Figura 51 - Gráfico Tensão (MPa) vs Deformação (%), demonstrando o comportamento das amostras submetidas à tração, referente ao segundo experimento.	76

Lista de tabelas

Tabela 1 – Possíveis biopolímeros para desenvolvimento do cabo da escova dental	21
Tabela 2 – Propriedades da resina de poliuretano derivado do óleo de mamona, valores indicados pelo fabricante, (Dados técnicos POLIVEG 480).	46
Tabela 3 – Coeficiente de difusão (D , mm^2/s) e valor de saturação (M_{∞} , %) obtidos da curva de ganho de peso ($M_{\%}$) vs. raiz quadrada do tempo ($t^{1/2}$) para água e saliva artificial.	64
Tabela 4 – Médias e desvios-padrão de D e M_{∞} para os dois tipos de meio, água e saliva.	65
Tabela 5 – Parâmetros obtidos através do DMTA para amostras de PU e de PP.	74
Tabela 6 – Resistência (MPa) e Módulo (GPa) das amostras submetidas à tração, referente ao primeiro experimento.	75
Tabela 7 – Resistência (MPa) e Módulo (GPa) das amostras submetidas à tração, referente ao segundo experimento.	76
Tabela 8 – Médias e desvios-padrão da Resistência (MPa) e do Módulo (GPa) das amostras de PP e PU submetidas à tração.	76