

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

JOÃO VITOR BURATO DE OLIVEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DE PULTRUDADOS APLICADOS EM PINOS
ODONTOLÓGICOS.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2016

JOÃO VITOR BURATO DE OLIVEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DE PULTRUDADOS APLICADOS EM PINOS
ODONTOLÓGICOS.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo de Carvalho

LONDRINA

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia de Materiais



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho

CARACTERIZAÇÃO DE PULTRUDADOS APLICADOS EM PINOS ODONTOLÓGICOS

Por

João Vitor Burato de Oliveira

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 16:00hs do dia 07 de Novembro de 2016 ao Curso Superior de Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Dr. Fabiano Moreno Peres

(UTFPR - Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)

Prof. Dr. Marcio Florian

(UTFPR - Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)

Prof. Dr. Luiz Eduardo de Carvalho

(UTFPR - Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)
Orientador

Prof. Dr. Odney Carlos Brondino

Responsável pelo TCC do Curso de Eng. De Materiais

Obs.: A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Materiais

Aos professores e professoras que
motivaram e inspiraram minha jornada até
aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus por me capacitar e me guiar em todos os momentos nessa jornada.

Aos meus pais, Therezinha e Jorge, pela dedicação na construção do meu caráter, pelas lições de humildade, cidadania e respeito ao próximo.

A minha irmã, Izadora, pela cumplicidade, amizade, companheirismo e incentivo nos momentos difíceis.

A Ana Luisa pela paciência, carinho e apoio desde que nos conhecemos.

A todos os familiares em Marília e São Paulo, que me deram suporte e força para perseverar.

A tia Valéria, tia Luiza e tio Marquinhos que me acompanharam e me ajudaram durante todos esses anos.

Aos amigos Marcelo, Letícia e Marina por me fazerem sentir acolhido em Londrina.

Aos meus companheiros da República Mamute, que se tornaram verdadeiros irmãos durante esses anos.

Ao prof. Dr. Luiz Eduardo de Carvalho, por me orientar, pela sua paciência e ensinamentos durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao técnico de laboratório Filippe, pela atenção e ajuda durante a construção dos adaptadores e na realização dos ensaios.

A empresa Angelus®, por fornecer as amostras que permitiram o desenvolvimento do trabalho proposto.

A todos os amigos que ganhei durante a graduação.

RESUMO

OLIVEIRA, J. V. B. Caracterização de Pultrudados Aplicados em Pinos Odontológicos. 2016. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia de Materiais) – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2016.

O processo de pultrusão é uma técnica muito utilizada na fabricação de perfis em materiais compósitos. Os perfis pultrudados reforçados por fibra de vidro, tem uma grande aplicação na área odontológica, sendo utilizados como produto semi acabado na fabricação de pinos odontológicos utilizados em implantes. Esse trabalho apresenta resultados do comportamento mecânico - dependentes dos parâmetros de fabricação utilizados pela empresa Angelus® - das varetas pultrudadas de Epóxi/Fibra de Vidro aplicadas na manufatura de pinos intrarradiculares. As amostras fornecidas foram separadas em amostra A, devido à presença de carga na matriz epóxi, e amostra B sem adição de carga na matriz, e avaliadas via ensaio de flexão em três pontos, obtendo a resistência a flexão de 1.135 MPa (amostra A), 1.681 MPa (amostra B) e módulo de elasticidade em flexão de 53 e 49 GPa, respectivamente. Além do ensaio de tração, onde obteve-se, para a amostra A e amostra B, respectivamente, o limite de resistência à tração de 750 e 1.206 MPa e o módulo de elasticidade de 32 e 29 GPa. Pode-se constatar que as propriedades mecânicas do compósito são adequadas à aplicação em pinos intrarradiculares, quando comparadas as propriedades mecânicas da estrutura dentinária.

Palavras-chave: Materiais compósitos. Pinos intrarradiculares. Caracterização mecânica.

ABSTRACT

OLIVEIRA, J. V. B. Characterization of Pultruded Applied in Dental Pins. 2016. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia de Materiais) – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2016.

The pultrusion process is a technique used in the manufacture of profiles, including composite materials. The pultruded profiles reinforced by fiberglass have a wide application in the dental area employ as semi-finished product in the manufacture of dental pins used in implants. This work presents results of the mechanical behavior - dependent on the manufacturing parameters used by Angelus ® - of the pultruded Epoxy / Glass Fiber rods applied in the manufacture of intraradicular pins. The samples provided were separated in sample A, due to the presence of filler in the epoxy matrix, and sample B without addition of filler in the matrix, and evaluated by three point bending test, obtaining the flexural strength of 1,135 MPa (sample A) , 1.681 MPa (sample B) and modulus of elasticity in flexion of 53 and 49 GPa, respectively. The traction test was also carried out, where the tensile strength limit of 750 and 1,206 MPa and the modulus of elasticity of 32 and 29 GPa were obtained respectively for sample A and sample B. The mechanical properties of the composite are adequate for the application in intraradicular pins, when comparing the mechanical properties of the dentin structure.

Keywords: Composite materials. Intraradicular pins. Mechanical characterization.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades Mecânicas na literatura para compósitos de fibra de vidro unidirecionais.	14
Tabela 2 - Propriedades Mecânicas dos Materiais de Implantes Metálicos.	19
Tabela 3 - Valores de Carga Máxima e MOR obtidos no ensaio de flexão em três pontos para as amostras A e B.	25
Tabela 4 - MOE obtido dos resultados dos ensaios de flexão em três pontos para as amostras A e B.	26
Tabela 5 - Resistência à Tração obtida pelo ensaio de tração nos corpos de prova das amostras A e B.	27
Tabela 6 - Módulo de Elasticidade dos corpos de prova das amostras A e B obtido pelo ensaio de tração.	28
Tabela 7 - Comparativo entre as propriedades mecânicas obtidas via ensaios de tração e flexão em três pontos, com as encontradas na literatura para compósito Epóxi/Fibra de Vidro e para o tecido ósseo da região dentária.	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Proposta de classificação hierárquica de compósitos sintéticos e naturais, em destaque para os compósitos de fibra contínua unidirecionais.	13
Figura 2 – Lâminas com reforço tipo: (a) unidirecional; (b) tecido bidimensional balanceado; (c) fibras picadas; e (d) manta contínua, submetida a esforços uniaxial longitudinais	13
Figura 3 - Diagrama esquemático do processo de pultrusão	16
Figura 4 - Detalhamento dos adaptadores para a realização dos ensaios mecânicos: (a) Modelo esquemático da pinça para o ensaio de tração (ASTM D3916-08), (b) Detalhe da pinça construída, (c) Modelo esquemático do suporte para o ensaio de flexão (ASTM D4476/D4476M-14), (d) Detalhe do suporte construído.....	21
Figura 5 – Esquema para o ensaio de flexão em três pontos: (a)*Especificações da norma ASTM D4476/D4476M-14; (b) Adaptações utilizadas no aparato experimental; (c) Montagem do aparato experimental fabricado e utilizado no Laboratório de Ensaios do DAEMA.	22
Figura 6 - (a) Modelo esquemático de montagem das pinças no corpo de prova dado em milímetros (b) Montagem do conjunto na máquina de ensaio no Laboratório de Ensaios Mecânicos do DAEMA.	23

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 MOTIVAÇÃO	11
1.2 OBJETIVO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 MATERIAIS COMPÓSITOS	12
2.1.1 Resina Epóxi (Epoxídica).....	14
2.1.2 Fibras de Vidro	15
2.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO – PULTRUSÃO.....	15
2.3 ENSAIOS MECÂNICOS	16
2.3.1 Ensaio de Tração.....	17
2.3.2 Ensaio de Flexão	17
2.4 REQUISITOS MECÂNICOS DOS IMPLANTES	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 MATERIAIS.....	20
3.2 MÉTODOS.....	20
3.2.1 Procedimentos do ensaio de flexão	21
3.2.2 Procedimentos do ensaio de tração	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 RESULTADOS OBTIDOS EM FLEXÃO	24
4.2 RESULTADOS OBTIDOS EM TRAÇÃO	26
4.3 DISCUSSÃO.....	29
5 CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	31
ANEXO A	33
ANEXO B	34

1 INTRODUÇÃO

A ideia de combinar materiais com a finalidade de obter um novo material não é nova, tendo a sua origem na própria natureza; um exemplo é a madeira, que constitui um compósito vegetal. Muitas das antigas civilizações aplicavam esse conceito empiricamente na fabricação de tijolos utilizando argila e fibras (MARINUCCI, 2011).

Os materiais compósitos são constituídos por dois ou mais componentes, o que poderia levar à conclusão que todo material tendo dois ou mais materiais distintos ou fases poderia ser considerado um compósito, porém as fases constituintes devem apresentar uma diferença nítida nas propriedades físicas e químicas, mostrando uma fase descontínua, denominada reforço, e outra contínua conhecida como matriz. O material resultante da combinação apresenta, quase sempre, propriedades superiores àquelas observadas nos materiais que o compõe (MARINUCCI, 2011).

Com o avanço da química orgânica, desenvolveu-se resinas (matriz) que se adequam as mais diversas aplicações o que, aliado a evolução da qualidade das fibras de vidro (reforço), tornou viável a afirmação dos compósitos poliméricos como materiais de engenharia (MARINUCCI, 2011).

Os compósitos poliméricos destacam-se por apresentar resistência específica superior aos materiais convencionais, resistência à corrosão e à fadiga, expansão térmica controlada e moldabilidade. Quando reforçados com fibras unidirecionais ou tecidos oferecem uma combinação entre resistência mecânica e módulo elástico maior ou igual à observada em materiais metálicos tradicionais (REZENDE, COSTA e BOTELHO, 2011).

O campo de aplicação dos materiais compósitos é consideravelmente amplo, desta forma os requisitos de desempenho estrutural, custo e cadência de produção recebem diferentes graus de importância de acordo com o segmento industrial. (NETO e PARDINI, 2006). Processos cada vez mais aprimorados permitem também o aumento da competitividade, diminuindo os custos e aumentando a capacidade produtiva, dentre eles está inserido o processo de pultrusão (MARINUCCI, 2011).

A principal característica do processo de pultrusão é a de ser econômica, quando custo e cadência de produção são correlacionados (REZENDE, COSTA e BOTELHO, 2011), além de ser um processo contínuo e de alto grau de automação,

sendo utilizada na fabricação de barras, tubos e perfis retos nos mais diversos formatos. Dentre as possibilidades de formas estão situadas as varetas de compósito, que são amplamente utilizadas como preformas multidirecionais. (NETO e PARDINI, 2006).

Na área de implantes odontológicos, os materiais mais comumente usados são os metais como titânio e suas ligas, aço inoxidável austenítico e ligas fundidas de cobalto-cromo-molibdênio (ANUSAVICE, SHEN e RAWLS, 2013). Entretanto, pinos metálicos possuem módulo de elasticidade acima do observado na estrutura dental e cor metálica esteticamente desfavorável (DANTAS, 2011).

Com isso, o uso de pinos compósitos de resina reforçados por fibras tornou-se bem aceito, pois além de promover a retenção mecânica do conjunto do implante intrarradicular, possui módulo de elasticidade similar à dentina e coloração que não interfere na recomposição estética do sorriso (DANTAS, 2011).

No presente trabalho foram caracterizadas as propriedades mecânicas dos perfis pultrudados de fibra de vidro em matriz epóxi fabricadas pela empresa Angelus®, empregados na fabricação de pinos odontológicos.

1.1 MOTIVAÇÃO

Aplicação dos conhecimentos adquiridos, para contribuir com a indústria odontológica que possui a necessidade em caracterizar as propriedades mecânicas dos perfis pultrudados, cujo desempenho depende tanto dos materiais utilizados na matriz e no reforço, quanto dos parâmetros de processamento.

1.2 OBJETIVO

Caracterizar mecanicamente os perfis pultrudados aplicados na manufatura de pinos intrarradiculares, fabricados pela Angelus Indústria de Produtos Odontológicos®.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MATERIAIS COMPÓSITOS

Materiais compósitos são fundamentados na ideia de combinar dois ou mais materiais, geralmente distintos em sua composição química e física, que apresentam uma interface distinguível entre seus componentes de modo a alcançar um efeito sinérgico, obtendo propriedades superiores das que seus constituintes apresentam separadamente (REZENDE, COSTA e BOTELHO, 2011).

A função da matriz é aglutinar, proteger e dar estabilidade geométrica ao reforço, enquanto que o reforço é responsável pelo desempenho estrutural elevado em diversos aspectos (NETO e PARDINI, 2006).

As propriedades obtidas nos compósitos são diretamente ligadas as propriedades dos materiais constituintes empregados, ou seja, do reforço e da matriz, pela fração volumétrica de cada constituinte, pela interface e adesão fibra/matriz, configuração e orientação das camadas além da forma e tamanho do reforço (MARINUCCI, 2011).

Devido as infinitas possibilidades de combinação, os materiais compósitos podem ser classificados pelo tipo de reforço, e ou pelo tipo de matriz, podendo ser metálica, cerâmica ou polimérica (NETO e PARDINI, 2006). Entre eles os compósitos unidirecionais reforçados por fibras contínuas, em destaque na Figura 1 estudado na forma de varetas.

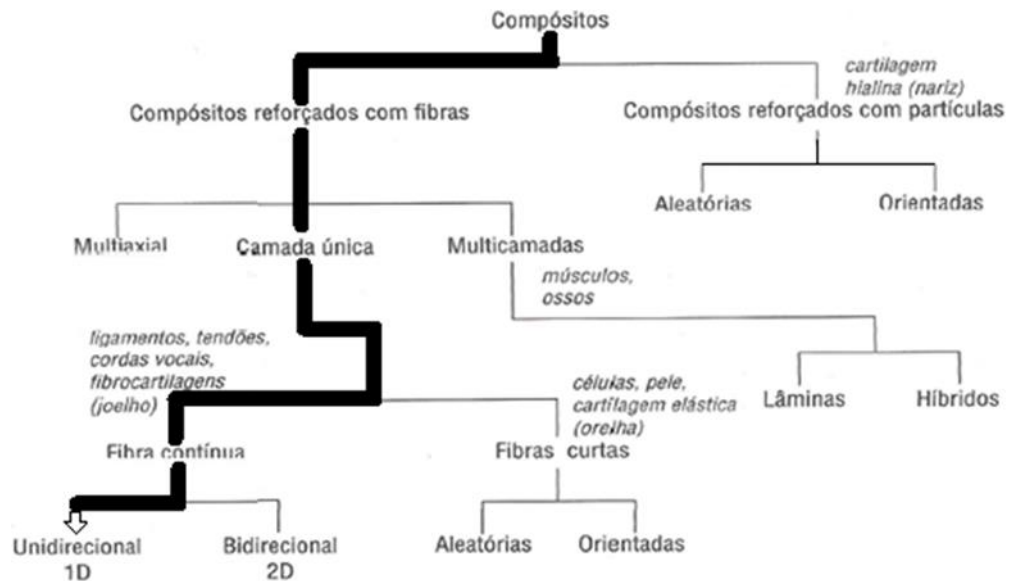


Figura 1 – Proposta de classificação hierárquica de compósitos sintéticos e naturais, em destaque para os compósitos de fibra contínua unidirecionais. Adaptado de: NETO e PARDINI, 2006.

No caso de compósitos de fibras contínuas, o material é moldado de forma que o reforço tenha uma orientação preferencial, exemplificado na Figura 2. Essa flexibilidade permite adequar o material à aplicação de interesse.

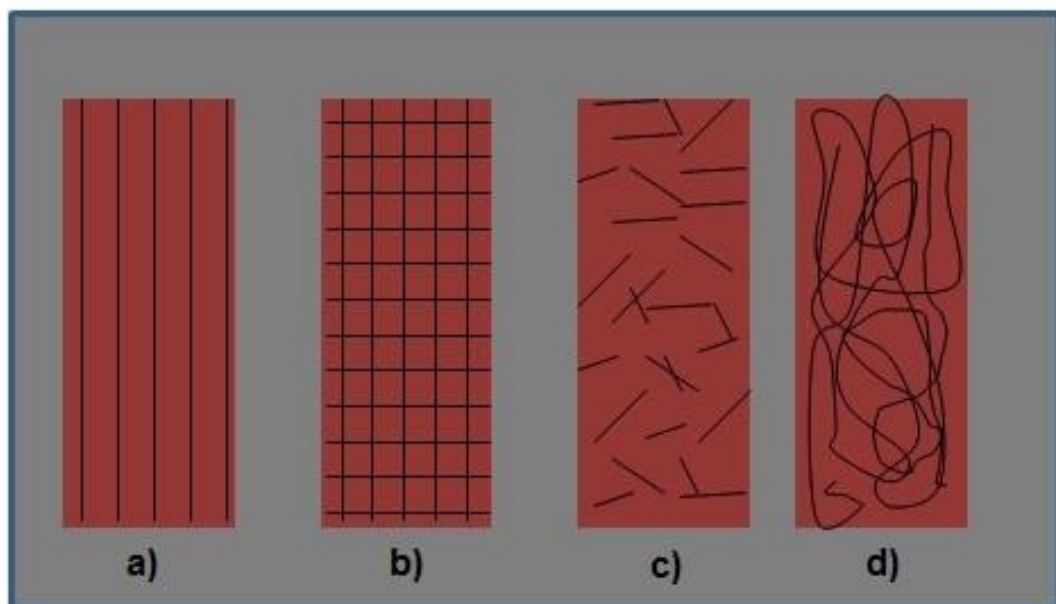


Figura 2 – Lâminas com reforço tipo: (a) unidirecional; (b) tecido bidimensional balanceado; (c) fibras picadas; e (d) manta contínua, submetida a esforços uniaxial longitudinais. Adaptado de: NETO e PARDINI, 2006.

Em relação aos tipos de matrizes, a escolha dependerá das condições/temperatura em que o compósito terá de suportar durante o serviço.

Para utilização em temperaturas de até 200°C, as matrizes poliméricas são as mais indicadas, sendo as de maior uso no setor industrial em conjunto com as fibras de vidro (NETO e PARDINI, 2006).

Define-se como matriz polimérica o material formado pela mistura de resina, agentes de cura, que quando polimerizados, apresentam boas propriedades mecânicas e considerável resistência térmica. Quando reunida com as fibras e outros elementos, como carga e aditivos, constituem os materiais compósitos poliméricos, conferindo características importantes, como forma geométrica, proteção contra agentes externos, resistência à produtos químicos. A matriz estabiliza a orientação do reforço na estrutura e permite a transferência do carregamento imposto ao compósito para os reforços. Uma das matrizes poliméricas mais utilizadas para a fabricação de compósitos é a epóxi. (MARINUCCI, 2011).

As propriedades mecânicas encontradas na literatura para esse tipo de compósito polimérico são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades Mecânicas na literatura para compósitos de fibra de vidro unidirecionais.

Tipo de compósito (Orientação das Fibras)	Fração volumétrica do reforço (%)	Resistência à Tração (MPa)	Módulo de Elasticidade E (GPa)
Matriz polimérica/Vidro (0°)*	50	520 a 1400	35 a 70
Epóxi/ Vidro (0°)**	68,1	1370	50,1

Fonte: *(LEITÃO, 2007) e **(VIEIRA e TEIXEIRA, 2008).

2.1.1 RESINA EPÓXI (EPOXÍDICA)

As resinas epoxídicas são polímeros termofixos de alto desempenho que apresentam dois ou mais grupos epóxi terminais. São aplicadas em recobrimentos protetivos, adesivos, equipamentos para a indústria química, laminados elétricos, encapsulados eletrônicos e compósitos estruturais. Atualmente os maiores produtores de resina epóxi no mundo são: Shell®, Dow Química® e Huntsman® responsáveis por aproximadamente 70% da produção mundial. (NETO e PARDINI, 2006)

2.1.2 FIBRAS DE VIDRO

A consolidação das fibras como reforço deve-se pelo número de defeitos ser reduzido em comparação a sua forma mássica. À medida que a razão de aspecto da fibra aumenta, o número de defeitos que poderiam induzir a falha reduz, aproximando a resistência da fibra da resistência teórica do material (NETO e PARDINI, 2006).

Em compósitos de matriz polimérica, o tipo de fibra mais empregada é a fibra de vidro que, dependendo da composição química, apresentam baixo custo, alta resistência à tração e inércia química. (NETO e PARDINI, 2006)

As fibras são obtidas basicamente por duas variantes do processo de fiação, que sempre envolve a fundição do vidro que é passado por uma fieira onde são produzidas as fibras. (NETO e PARDINI, 2006)

A diferença entre as variações é que a primeira possui uma fase de pelotização do vidro para posterior fusão e fiação, enquanto a segunda, mais usual, a fiação ocorre diretamente do forno de fusão. As fibras obtidas pelo processo de fiação são recobertas por agentes de encimagem, que tem como objetivo proteger a superfície. O processo permite obter fibras tanto na forma contínua quanto na forma picada. (NETO e PARDINI, 2006)

2.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO – PULTRUSÃO.

O processo inicia com o reforço sendo pré-aquecido, com o objetivo de eliminar a possível presença de umidade nesse material. Em seguida, este reforço é tracionado, passando por um banho de resina e, posteriormente, por uma cavidade (ferramental de moldagem), que tem como finalidade dar a forma da seção transversal do artefato (REZENDE, COSTA e BOTELHO, 2011), como pode ser observado na Figura 3 (CALLISTER e RETHWISCH, 2013). A cura da matriz polimérica pode ser realizada utilizando três zonas de temperatura, onde a faixa de temperatura pode variar de 70°C até 140°C. A cadência produtiva dessa técnica depende dos equipamentos utilizados e do tipo de perfil desejado, sendo considerado razoável para uma planta de pultrusão uma taxa de 0,5 à 1,0 metro por minuto (MARINUCCI, 2011).

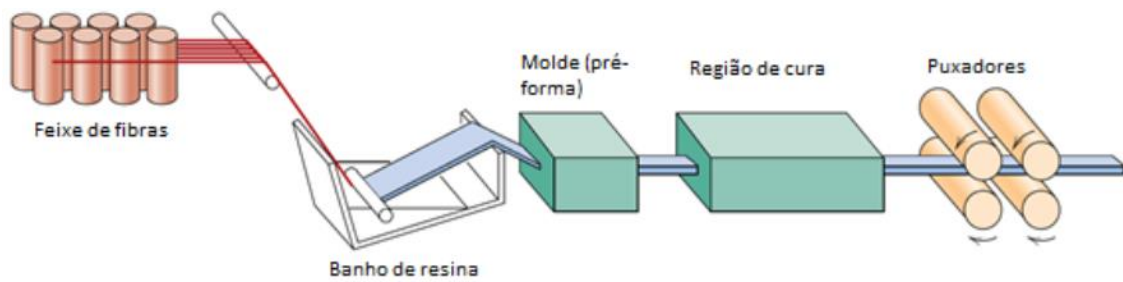


Figura 3 - Diagrama esquemático do processo de pultrusão
Adaptado de: CALLISTER e RETHWISCH, 2013.

Os perfis são continuamente puxados por um tracionador, e daí o nome pultrusão que teria alguma relação com o verbo puxar em inglês, e cortados de acordo com a dimensão desejada, sendo possível a fabricação de peças inteiriças o que resulta em um melhor aproveitamento do material. A operação contínua permite elevado grau de automação, assegurando uniformidade de características ao longo da extensão do produto, por exemplo a relação entre reforço e matriz polimérica, importante para garantir propriedades mecânicas homogêneas (MARINUCCI, 2011).

A especificação da matriz polimérica é dependente da utilização que será dada ao perfil, sendo normalmente empregada a matriz com resina poliéster isoftálica ou com resina vinil éster, em situações que envolvam exposição a ambiente ácidos e alcalinos. Para aplicações que exigem rigidez do produto em temperaturas elevadas são utilizadas resinas epóxi (MARINUCCI, 2011).

Os perfis podem ser coloridos, o que dispensa a etapa de pintura. Basta apenas a pigmentação da matriz polimérica na cor especificada. Há também uma grande variedade de geometrias que podem ser obtidas, cabendo apenas alteração dos moldes (MARINUCCI, 2011).

2.3 ENSAIOS MECÂNICOS

Todo projeto de engenharia necessita, para alcançar um bom desempenho, do conhecimento das características e propriedades dos materiais disponíveis.

Para que seja possível selecionar os materiais que atendem os critérios especificados de qualquer projeto, é necessário a realização de ensaios mecânicos segundo métodos normatizados, como objetivo de estabelecer uma linguagem comum entre os fornecedores e usuários dos materiais (GARCIA, SPIM e SANTOS, 2012).

Por meio dos ensaios mecânicos é possível determinar as propriedades mecânicas do material, que refletem o seu comportamento quando submetido à esforços externos na forma de tensões e/ou deformações. Fatores como o tipo de esforço aplicado, velocidade de aplicação da carga e condições do ambiente podem influenciar a resposta apresentada pelo material (GARCIA, SPIM e SANTOS, 2012).

Entre os diversos tipos de ensaio, o de tração é o mais utilizado devido ao fato de ser um tipo de ensaio simples, que demanda pouco tempo para ser realizado, permitindo obter informações primordiais do material. Outro ensaio muito utilizado em componentes estruturais é o de flexão (GARCIA, SPIM e SANTOS, 2012).

2.3.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

O ensaio de tração consiste na aplicação de uma carga uniaxial crescente em um corpo de prova, até que ocorra a falha do material. Esse ensaio destaca-se na grande facilidade de sua aplicação, flexibilidade do método e na amplitude de informações fornecidas para a caracterização dos materiais (GARCIA, SPIM e SANTOS, 2012).

2.3.2 ENSAIO DE FLEXÃO

O ensaio de flexão de três pontos consiste em um corpo de prova biapoiado com aplicação de uma carga crescente no centro da distância entre os apoios, com isso existem três pontos de carga - uma direta e duas reações nos apoios (GARCIA, SPIM e SANTOS, 2012).

As principais informações obtidas no ensaio de flexão são o módulo de ruptura (MOR), que é a tensão necessária para a fratura total do corpo de prova, e o módulo de elasticidade (MOE), referente a rigidez do material (GARCIA, SPIM e SANTOS, 2012).

2.4 REQUISITOS MECÂNICOS DOS IMPLANTES

A classificação dos materiais empregados em implantes odontológicos pode ser feita de acordo com a sua composição química e propriedades físicas, químicas mecânicas, elétricas e biológicas. Sendo fundamentais para auxiliar no desenvolvimento e fabricação de próteses (ANUSAVICE, SHEN e RAWLS, 2013).

No caso dos pinos intrarradiculares, as propriedades mecânicas são determinantes na escolha do material empregado, por exemplo o módulo de elasticidade é inversamente relacionado com a deformação transferida ao longo da interface implante-tecido durante o carregamento do implante, isto é, quanto mais rígido o pino, menor será a tensão transferida para o osso (ANUSAVICE, SHEN e RAWLS, 2013).

Um balanço delicado na transferência de cargas na interface implante/tecido deve ser atingido para manter a saúde adequada do osso. Forças oclusais excessivas sobrecarregam o osso ao redor do implante, o que pode levar à reabsorção e à microfratura. Por outro lado, transferências mínimas de cargas para o osso podem causar atrofia óssea por falta de uso (ANUSAVICE, SHEN e RAWLS, 2013).

Assim, o implante deve apresentar um módulo de elasticidade comparável com o observado no tecido ósseo (Tabela 2) para produzir uma distribuição de tensões mais uniforme ao longo da interface (ANUSAVICE, SHEN e RAWLS, 2013).

Tabela 2 - Propriedades Mecânicas dos Materiais de Implantes Metálicos.

Material	Grau ou Condição	Alongamento (%)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Resistência à Tração (MPa)
CpTi ¹	1	24	102	240
CpTi ¹	2	20	102	345
CpTi ¹	3	18	102	450
CpTi ¹	4	15	104	550
Ti-6Al-4V		10	113	930
Ti-6Al-4V ELI ²		10	113	860
Co-Cr-Mo		8	240	700
Aço Inoxidável	Recozido	40	200	490
Aço Inoxidável	Trabalhado à frio	12	200	860
Osso cortical		1	18	140
Dentina		0	18,3	52
Esmalte		0	84	10

¹Titânio comercialmente puro.

²Liga de titânio com graus intersticiais ultrabaixos (ELI, na sigla em inglês).

Adaptado de: ANUSAVICE, SHEN e RAWLS, 2013.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

As amostras na forma de perfis (varetas) fornecidas pela empresa Angelus®, foram divididas em dois grupos, segundo as especificações do fabricante.

Amostra A – 80% fibra de vidro e 20% de resina epóxi com carga.

Amostra B – 80% fibra de vidro e 20% de resina epóxi sem carga.

Para a realização dos ensaios foram utilizados:

- Diclorometano;
- Par de pinças adaptadoras (ASTM D3916-08);
- Suportes adaptados para o ensaio de flexão (ASTM D4476/D4476M-14).

3.2 MÉTODOS

As amostras foram submetidas à ensaios mecânicos baseados nas normas da ASTM, D4476/D4476M-14 para o ensaio de flexão em três pontos e D3916-08 para o ensaio de tração.

Para a execução do trabalho, os adaptadores foram confeccionados no Laboratório de Preparação (B003) do DAEMA, considerando as especificações das normas da ASTM D3916-08 (ensaio de tração) e D4476/D4476M-14 (ensaio de flexão de três pontos).

Os corpos-de-prova ensaiados possuíam diâmetro inferior ao tabelado pela norma ASTM D3916-08, que traz as dimensões das pinças em função do diâmetro. Assim, as dimensões das pinças foram determinadas proporcionalmente aos valores encontrados na norma.

Alguns detalhes construtivos, como ausência de pinos guia nas pinças (Figura 4-a e Figura 5-b) e o mecanismo de fixação lateral dos suportes (Figura 4-c e Figura 4-d), divergem dos especificações encontradas nas normas. Essas alterações

foram resultado do processo de fabricação durante a manufatura dos mesmos e para possibilitar o uso na máquina de ensaios universal WDW-100EIII, do Laboratório de Ensaio Mecânicos (B006) do DAEMA.

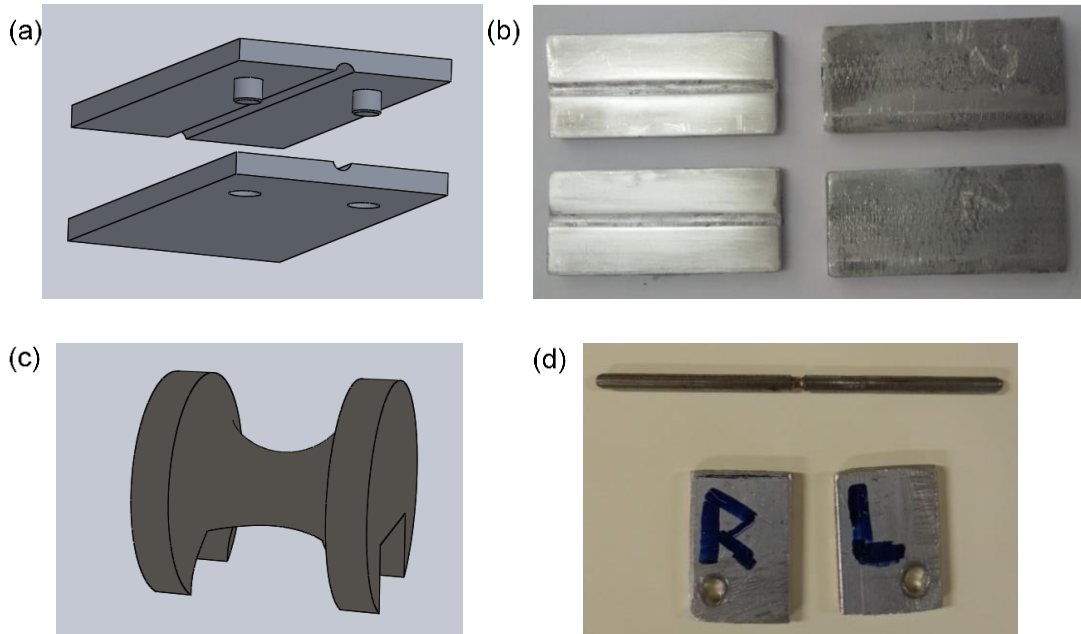


Figura 4 - Detalhamento dos adaptadores para a realização dos ensaios mecânicos: (a) Modelo esquemático da pinça para o ensaio de tração (ASTM D3916-08), (b) Detalhe da pinça construída, (c) Modelo esquemático do suporte para o ensaio de flexão (ASTM D4476/D4476M-14), (d) Detalhe do suporte construído.

3.2.1 PROCEDIMENTOS DO ENSAIO DE FLEXÃO

Sete corpos de prova, de ambas amostras, foram confeccionados com sessenta milímetros de comprimento e aferidos os diâmetros médios.

Em seguida, os suportes foram fixados na máquina universal de ensaios WDW-100EIII, do Laboratório de Ensaio Mecânicos (B006) do DAEMA, de modo que o vão entre os suportes fosse de cinquenta milímetros, utilizando um rolete de 10mm de diâmetro (Figura 5).

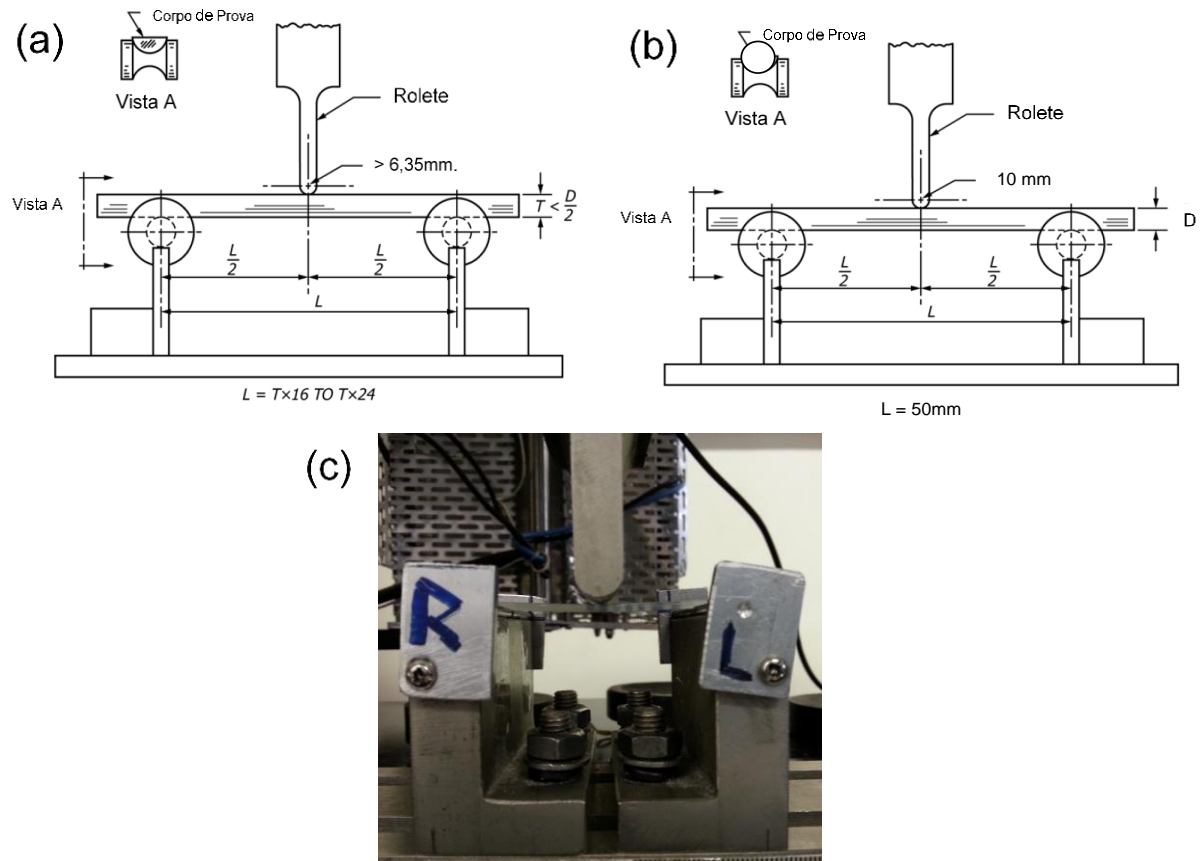


Figura 5 – Esquema para o ensaio de flexão em três pontos: (a)*Especificações da norma ASTM D4476/D4476M-14; (b) Adaptações utilizadas no aparato experimental; (c) Montagem do aparato experimental fabricado e utilizado no Laboratório de Ensaios do DAEMA.
*Adaptado de: ASTM D4476/D4476M-14.

Para determinar a taxa de carregamento, foram empregados taxas de 2mm/min, 5mm/min e 10mm/min nos corpos de prova 1^a, 2^a e 3^a que apresentaram duração do ensaio de flexão, respectivamente, de 140s, 55s e 30s. Segundo a norma D4476/D4476M-14, o ensaio de flexão deve durar entre 20s e 200s, foi utilizada a taxa de 10mm/min para os ensaios posteriores devido à redução do tempo de ensaio, respeitando as especificações.

3.2.2 PROCEDIMENTOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO

Dez corpos de prova, de cada amostra, foram confeccionados com trezentos milímetros de comprimento e aferidos os diâmetros médios.

Em seguida os corpos de prova e as pinças adaptadoras foram limpos utilizando um pano saturado de diclorometano, para evitar que ocorresse escorregamento dos corpos de prova durante o ensaio.

Após a limpeza, as pinças foram montadas nas extremidades dos corpos de prova, como mostrado na Figura 6-a, e o conjunto fixado na máquina universal de ensaios WDW-100EIII (Figura 6-b), do Laboratório de Ensaio Mecânicos do DAEMA (B006), empregando uma taxa de carregamento de 5mm/min.

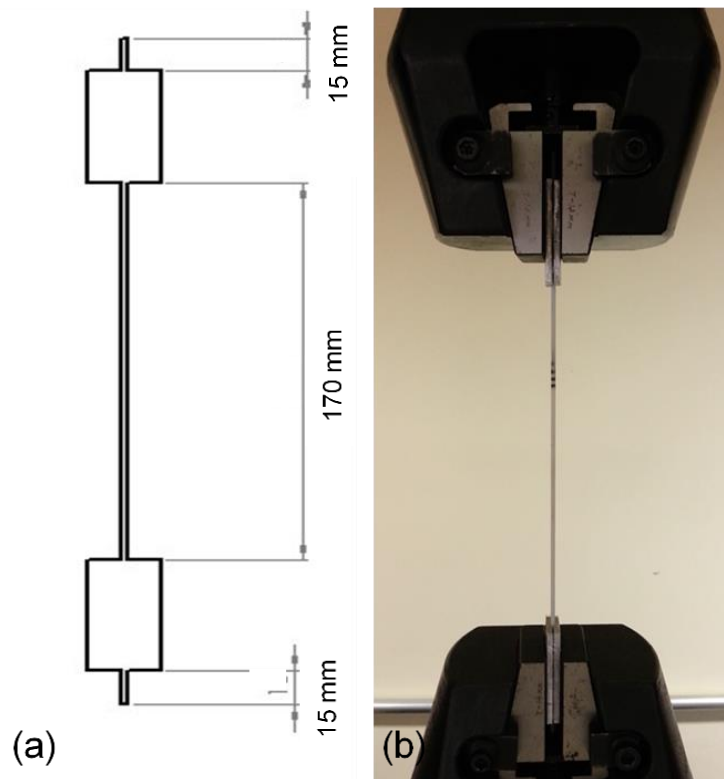


Figura 6 - (a) Modelo esquemático de montagem das pinças no corpo de prova dado em milímetros (b) Montagem do conjunto na máquina de ensaio no Laboratório de Ensaio Mecânicos do DAEMA.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS OBTIDOS EM FLEXÃO.

Os diâmetros médios dos corpos de prova estão descritos no ANEXO A.

Para todos os corpos de prova, foram calculados os níveis de tensionamento, por meio da equação (1).

$$\sigma = (8 * P * L) / (\pi * D^3) \quad (1)$$

Onde:

σ = tensão dada em Megapascal (MPa);

P = carregamento dado em Newtons (N);

L = vão entre os dois apoios dada em milímetros;

D = diâmetro médio do corpo de prova dado em milímetros (mm).

Os resultados obtidos, dispostos na Tabela 3, apresentam a resistência à flexão (MOR) e os carregamentos máximos obtidos nos ensaios realizados.

Tabela 3 - Valores de Carga Máxima e MOR obtidos no ensaio de flexão em três pontos para as amostras A e B.

Amostra	Corpo de Prova	Carga Máxima(N)	Desvio Padrão(N)	MOR(MPa)	Desvio Padrão(MPa)
A	1 ^a	103	-	1.123	-
	2 ^a	108	-	1.175	-
	3 ^a	104	-	1.132	-
	4 ^a	107	-	1.162	-
	5 ^a	110	-	1.193	-
	6 ^a	100	-	1.046	-
	7 ^a	106	-	1.109	-
	Média.	105	3	1.135	49
B	8 ^b	165	-	1.729	-
	9 ^b	160	-	1.594	-
	10 ^b	156	-	1.815	-
	11 ^b	151	-	1.603	-
	12 ^b	150	-	1.681	-
	13 ^b	156	-	1.534	-
	14 ^b	151	-	1.672	-
	Média	157	5	1.681	92

O módulo de elasticidade em flexão (MOE), foi calculado empregando a equação (2):

$$MOE = ((4 * P * L^3)/(3 * v * \pi * D^4))/1000 \quad (2)$$

Sendo:

MOE = Módulo de elasticidade em flexão dado em GPa;

P = carga aplicada dado em N;

L = comprimento do vão entre os apoios dado em mm;

v = deflexão gerada dada em mm;

D = diâmetro médio dos corpos de prova dado em mm.

Os valores obtidos de cada corpo de prova e seus respectivos desvios padrão estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - MOE obtido dos resultados dos ensaios de flexão em três pontos para as amostras A e B.

Amostra	Corpo de Prova	MOE (GPa)	Desvio Padrão(GPa)
A	1 ^a	49,95	0,57
	2 ^a	57,29	1,09
	3 ^a	53,36	0,90
	4 ^a	63,51	1,25
	5 ^a	49,55	0,56
	6 ^a	48,47	0,38
	7 ^a	51,70	0,52
	Média	53,41	5,34
B	8 ^b	48,98	1,00
	9 ^b	46,15	0,61
	10 ^b	61,25	1,15
	11 ^b	46,92	0,68
	12 ^b	49,16	0,67
	13 ^b	42,17	0,61
	14 ^b	47,87	0,68
	Média	48,93	5,92

4.2 RESULTADOS OBTIDOS EM TRAÇÃO

O diâmetro médio dos corpos de prova estão dispostos no ANEXO B

Os dados obtidos após o ensaio de tração, foram aplicados na equação (3) equação (4).

$$\sigma = (4 * P) / (\pi * D^2) \quad (3)$$

Onde:

σ = Tensão em MPa;

P = Carregamento aplicado em N;

D = Diâmetro médio do corpo de prova em mm.

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 \quad (4)$$

Onde:

ε = Deformação longitudinal;

ΔL = Elongação em mm;

L_0 = Comprimento inicial em mm.

A resistência à tração (Tabela 5) foi estimada nos pontos de carregamento máximo dos corpos de prova pela equação (3).

Tabela 5 - Resistência à Tração obtida pelo ensaio de tração nos corpos de prova das amostras A e B.

Amostra	Corpo de Prova	Carga Máxima(N)	Desvio Padrão(N)	Resistência à Tração(MPa)	Desvio Padrão(MPa)
A	1 ^a	2.947	-	775	-
	2 ^a	2.856	-	745	-
	3 ^a	2.927	-	770	-
	4 ^a	2.869	-	755	-
	5 ^a	2.691	-	708	-
	Média	2.858	101	750	27
B	6 ^b	5.102	-	1.228	-
	7 ^b	4.714	-	1.125	-
	8 ^b	5.294	-	1.231	-
	9 ^b	4.998	-	1.246	-
	10 ^b	4.990	-	1.201	-
Média	5.020	210	1.206	48	

Foi possível calcular o módulo de elasticidade (E), aplicando a equação (5) para ambas as amostras.

$$E = (4 * m * L_0) / (\pi * D^2) \quad (5)$$

Sendo:

E = Módulo de elasticidade em GPa;

m = Razão entre carregamento e alongação em kN/mm;

L_0 = Comprimento inicial do corpo de prova em mm;

D = Diâmetro médio do corpo de prova em mm.

O módulo de elasticidade, estimado por meio da equação (5) estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6 - Módulo de Elasticidade dos corpos de prova das amostras A e B obtido pelo ensaio de tração.

Amostra	Corpo de Prova	Módulo de Elasticidade(GPa)	Desvio Padrão(GPa)
A	1 ^a	32,11	0,84
	2 ^a	32,94	0,32
	3 ^a	32,19	0,91
	4 ^a	31,51	0,77
	5 ^a	32,08	0,42
	Média	32,16	0,83
B	6 ^b	29,54	0,31
	7 ^b	28,89	0,70
	8 ^b	25,77	0,75
	9 ^b	31,31	0,61
	10 ^b	31,03	0,76
	Média	29,31	2,09

Um comparativo dos dados da literatura, de compósitos unidirecionais Epóxi/Fibra de vidro (LEITÃO, 2007), da estrutura dentinária (ANUSAVICE, SHEN e RAWLS, 2013) e os principais resultados obtidos na caracterização mecânica deste trabalho, são apresentados resumidamente na Tabela 7 .

Tabela 7 - Comparativo entre as propriedades mecânicas obtidas via ensaios de tração e flexão em três pontos, com as encontradas na literatura para compósito Epóxi/Fibra de Vidro e para o tecido ósseo da região dentária.

Material	MOR (MPa)	MOE (GPa)	LRT (MPa)	E (GPa)
A (com carga)	1.134,61 ± 49,01	53,41 ± 5,34	750,48 ± 26,74	32,16 ± 0,83
B (sem carga)	1.681,14 ± 91,91	48,93 ± 5,92	1.206,15 ± 48,27	29,31 ± 2,09
Epóxi/Fibra de Vidro*	-	-	1370	50,1
Osso cortical**	-	-	140	18
Dentina**	-	-	52	18,3

*LEITÃO, 2007; **ANUSAVICE, SHEN e RAWLS, 2013; LRT (Limite de Resistência à Tração); E (Módulo de Elasticidade).

4.3 DISCUSSÃO

Os resultados do ensaio de flexão apontaram uma queda de 32,5% na resistência à flexão da amostra A em relação a amostra B, e um módulo de elasticidade em flexão (MOE) igual entre as amostras, considerando os desvios padrão.

Pelo ensaio de tração, notou-se uma redução de 37,8% na resistência à tração da amostra A em comparação à amostra B. Ainda assim, os valores obtidos são inferiores aos observados em LEITÃO, 2007, muito provavelmente pela alta fração volumétrica de fibra de vidro (reforço) utilizada na fabricação do compósito. Em relação ao módulo elástico, os valores obtidos são iguais, considerando os respectivos desvios padrão, entre as amostras A e B.

Uma explicação plausível, seria que a carga presente na matriz epóxi do compósito, interfere na transferência de carregamento na interface matriz/reforço.

5 CONCLUSÃO

O objetivo de caracterizar, via ensaios mecânicos de flexão em três pontos e tração, o compósito pultrudados de Epóxi/Fibra de vidro fabricado pela Angelus®, foi alcançado.

Os resultados indicaram que o compósito sem adição de carga, apresentou limite de resistência à tração e em flexão superiores ao produzido com carga.

Já os módulos de elasticidade obtidos em flexão e tração, não apresentaram diferença significativa, sendo próximos aos valores da estrutura dentinária.

Isso comprova que as propriedades obtidas são adequadas a aplicação em pinos odontológicos intrarradiculares, mesmo com adição de carga, importante para aspectos que fogem ao escopo do trabalho, o compósito supre os requisitos mecânicos da aplicação.

Para uma avaliação dos aspectos que afetam o comportamento mecânico do compósito estudado, surge a necessidade de estudos futuros sobre a influência da carga, presente na matriz, na adesão matriz/reforço.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASTM D3916-08(2016) **Standard Test Method for Tensile Properties of Pultruded Glass-Fiber-Reinforced Plastic Rod**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, <http://dx.doi.org/10.1520/D3916-08R16>.

ASTM D4476/D4476M-14 **Standard Test Method for Flexural Properties of Fiber Reinforced Pultruded Plastic Rods**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, http://dx.doi.org/10.1520/D4476_D4476M-14.

ANUSAVICE, K. J.; SHEN, C.; RAWLS, H. R. **Phillips - Materiais Dentários**. 12^a. ed. [S.l.]: Elsevier, 2013.

BRYDSON, J. A. Epoxide Resins. In: BRYDSON, J. A. **Plastic Materials**. 7^a. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999. Cap. 26, p. 744-772.

CALLISTER, J. W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials Science and Engineering: An Introduction**. 9th. ed. United States of America: John Wiley & Sons, 2013.

DANTAS, M. C. C. **Avaliação das propriedades mecânicas e adesivas de pinos compósitos endodônticos submetidos a diferentes tratamentos superficiais**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 156. 2011.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. D. **Ensaio dos Materiais**. 2^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

LEITÃO, E. D. S. **Caracterização mecânica de compósitos poliméricos bobinados em diversas orientações do reforço**. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 114. 2007.

MARINUCCI, G. **Materiais Compósitos Poliméricos**. 1^a. ed. São Paulo: Artliber, 2011.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C. **Compósitos Estruturais: ciência e tecnologia**. 1^a. ed. São Paulo: Blucher, 2006.

REZENDE, M. C.; COSTA, M. L.; BOTELHO, E. C. **Compósitos Estruturais: Tecnologia e Prática**. 1^a. ed. São Paulo: Artliber, 2011.

VIEIRA, L. A.; TEIXEIRA, A. M. A. J. Propriedades e características dos materiais compósitos poliméricos aplicados na Engenharia de Construção. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, p. 54-66, 3º Quadrimestre 2008.

ANEXO A

Diâmetro médio dos corpos de prova para o ensaio de flexão.

Amostra	Corpo de Prova	Diâmetro médio (mm)	Desvio Padrão (mm)
A	1 ^a	2,27	0,04
	2 ^a	2,27	0,04
	3 ^a	2,27	0,04
	4 ^a	2,27	0,04
	5 ^a	2,27	0,04
	6 ^a	2,30	0,04
	7 ^a	2,30	0,04
	8 ^b	2,30	0,04
	9 ^b	2,34	0,01
	10 ^b	2,22	0,01
B	11 ^b	2,29	0,01
	12 ^b	2,25	0,01
	13 ^b	2,35	0,01
	14 ^b	2,26	0,03

^a Amostra A.

^b Amostra B.

ANEXO B**Diâmetro médio dos corpos de prova do ensaio de tração.**

Amostra	Corpo de Prova	Diâmetro médio (mm)	Desvio Padrão (mm)
	1 ^a	2,20	0,01
	2 ^a	2,21	0,01
A	3 ^a	2,20	0,01
	4 ^a	2,20	0,01
	5 ^a	2,20	0,01
	6 ^b	2,30	0,02
	7 ^b	2,31	0,03
B	18 ^b	2,34	0,01
	9 ^b	2,26	0,04
	10 ^b	2,30	0,02