

## 2.0 REVISÃO DE LITERATURA

A capacidade de um material em atuar como reforço das resinas acrílicas à base de PMMA depende principalmente do tipo e características do material aplicado, adesão à matriz e local de aplicação nas próteses provisórias (Nohrstrom *et al.*, 2000).

Cada material possui características próprias, influenciando de modo diverso a resistência à fratura das resinas acrílicas à base de poli(metilmetacrilato de metila) - PMMA. As fibras de vidro, especificamente, estão sendo testadas nas mais diversas formas (Nohrstrom *et al.*, 2000). Elas podem estar agrupadas em feixes de modo unidirecional ou trançadas ou ainda ser incorporadas por dispersão em peso à massa acrílica. Cada uma dessas configurações possui indicações específicas, uma vez que produzirão resultados diferentes.

### 2.1 Influência do tipo de material

Grant & Greener, em 1967, foram autores de um dos primeiros relatos da utilização de algum tipo de reforço em resinas acrílicas baseadas em PMMA no universo odontológico. Realizaram um estudo avaliando a resistência flexional de resinas acrílicas PMMA auto e termopolimerizáveis quando reforçadas com fibras à base de alumínio denominadas “sapphire whiskers”. Os autores evidenciaram um considerável aumento da resistência flexional das resinas acrílicas que continham uma pequena concentração dessas fibras.

Em 1986, Bjork *et al.*, utilizaram sistemas de resina PMMA reforçados com fibras de carbono/grafite na confecção de próteses fixas implanto-suportadas e compararam suas propriedades de resistência flexural com resinas auto e termopolimerizáveis sem reforço. Os corpos-de-prova reforçados apresentaram propriedades mecânicas superiores aos não reforçados. Concluíram que a aplicação de fibras de carbono/grafite como reforço pode ser uma alternativa às infra-estruturas fundidas convencionais nas reabilitações protéticas realizadas na mandíbula.

Berrong *et al.* (1990), estudaram o efeito da incorporação de Kevlar, uma fibra de aramida sintética, ao PMMA termopolimerizável sobre a capacidade de aumentar sua resistência ao impacto. Esse material, além da aplicação odontológica, tem sido usado na indústria bélica mundial na fabricação de coletes à prova de balas, pneus de automóveis, cascos de barcos e peças de aeronaves. Sua cor amarela que dificulta sua aplicação em áreas estéticas e a impossibilidade de polimento se constituem em desvantagens, segundo os

autores. Confeccionaram corpos-de-prova de 30 x 10 x 3,5mm (comprimento x largura x espessura) e incorporaram a essas tiras de Kevlar com 31 mm de comprimento. Essas foram posicionadas no centro das barras acrílicas, variando de 0.5, 1 e 2% em peso. Um grupo não reforçado foi utilizado como controle. A utilização de até 2 %, em peso, de fibras de reforço de Kevlar pode aumentar a resistência à fratura da base de próteses totais em áreas tradicionalmente fracas, como a linha média e dificultar a separação dos fragmentos fraturados que possam ser perdidos ou aspirados pelo paciente.

Larson *et al.* (1991), avaliaram a incorporação de tiras de fibras de carbono de 63 mm sobre corpos-de-prova de 65 x 10 x 3 mm, confeccionados em 3 materiais diferentes para próteses parciais fixas provisórias (PPFP) e sua absorção de água em períodos variados de estocagem. A partir de dados experimentais, ficou evidente, por conseguinte, que o poli(metacrilato de metila) - PMMA, pode ser o material de escolha para a confecção de restaurações provisórias em comparação com o poli (etilmetacrilato) ou poli (vinil etilmetacrilato), devido ter apresentado melhores características e maior módulo de elasticidade. A aplicação de fibras de carbono aumentou significativamente o módulo de elasticidade das três resinas estudadas. A absorção de água não foi significativa nos vários períodos observados. Os autores concluíram que as fibras de carbono podem ser efetivos reforços para próteses provisórias, porém ressaltaram sua condição antiestética, restringindo sua aplicação para as regiões posteriores da mandíbula.

Ladizesky *et al.*, em 1994, avaliaram as propriedades mecânicas de duas resinas acrílicas PMMA termo-polimerizáveis, reforçadas com até dez camadas de fibras de poli(etileno) trançadas e tratadas com plasma, representando acima de 40% em volume. A incorporação de uma alta concentração dessas fibras aumentou significativamente a rigidez à flexão e a resistência ao impacto. Houve, contrariamente, somente um pequeno aumento na sua resistência à fratura.

Vallittu, em 1995, realizando uma revisão na literatura, constatou que os fios metálicos lisos de aço inoxidável, malhas ou placas eram aplicados como elementos de reforço ou reparos em áreas de fratura de próteses totais (PT) confeccionadas em resina PMMA. Observou variados efeitos. Atestou que a capacidade desse tipo de reforço está na dependência da sua secção, diâmetro ( $\emptyset$ ) e propriedades físicas. Reforços metálicos rígidos, em liga de cobalto-cromo foram aplicados com resultados favoráveis, assim como fios de aço inoxidável lisos, por exemplo, produzindo efeitos diversos, dependendo do seu diâmetro e da secção, tendo encontrado valores de 5 a 85% de aumento. As malhas metálicas apresentaram pobres resultados, com nenhum ou aumento máximo de 25%. Além do tipo de material

aplicado, suas características superficiais também interferem na capacidade de reforço, dependendo do maior ou menor embricamento mecânico à matriz resinosa. Assim, macro ou micro irregularidades foram estudadas, com maior efeito das segundas, em detrimento das primeiras. As macro irregularidades eram, em sua maioria, proporcionadas por dobras ou voltas nos fios. Já as micro por tratamento superficial químico, eletrolítico ou, de modo mais fácil e corriqueiro, por jateamento ou asperização mecânica.

O mesmo autor, no ano seguinte (1996), fez outra revisão de literatura sobre a aplicação de fibras (de vidro, aramida, carbono e polietileno) enquanto reforços para resinas acrílicas PMMA. Encontrou bons resultados e efetividade para a aplicação das fibras de um modo geral, porém maior efetividade para as de vidro, quando incorporadas em 58% em peso. O aumento da concentração possui proporção direta sobre o aumento da resistência à fratura, porém apenas até o “ponto de saturação” da resina acrílica.

Samadzadeh *et al.* (1997), avaliaram o efeito do uso de uma fibra de poli(etileno) trançada, tratada com plasma, sobre a resistência à fratura de corpos-de-prova, simulando PPFPP com vãos de 22 mm, confeccionados em PMMA autopolimerizável. Verificaram que o reforço não conferiu aumento estatisticamente significativo dessa resistência ao PMMA. Porém, nesse trabalho, estabeleceram uma classificação para as fraturas, importante para determinar condutas clínicas: (a) *parcial*, quando a região de conexão da prótese trincou, mas permaneceu intacta/unida; (b) *não separada*, quando houve fratura de um ou ambos os conectores, porém o conjunto permaneceu unido pela fibra que não se fraturou e (c) *catastrófica*, quando o pântico sofreu uma fratura, dividindo-se em várias partes que se separaram da prótese. Essa traz sérias conseqüências ao tratamento, dificuldade de reparos, bem como constrangimento ao paciente. Nesse estudo, os grupos reforçados proporcionaram um modo de fratura mais favorável, ou seja, do tipo parcial ou não separada.

Vallittu, em 1998, avaliou a resistência à fratura de corpos-de-prova na forma de PPFPP de três unidades com vãos de 10,0 mm, confeccionados sobre pilares não anatômicos e reforçados por uma (1R), duas (2R) ou três (3R) fibras de vidro unidirecionais pré-impregnadas com um polímero e um grupo com três fibras unidirecionais mais uma trançada (3R + 1W). As fibras foram cortadas e inseridas na mistura pó e líquido. Os corpos-de-prova foram armazenados em água destilada por 10 dias antes dos testes. Esses foram realizados através de uma força compressiva entre pilares realizada por uma máquina universal de ensaio com velocidade de 5 mm/min. As próteses foram adaptadas aos pilares utilizando uma força de 30 N para uniformizar posicionamento/assentamento, porém não foram cimentadas. Observou-se que houve aumento significativamente da resistência à fratura das próteses, por

grupo, em relação ao controle (não reforçado), tendo obtido valores crescentes de resistência à fratura, conforme aumento do número de tiras de fibras instaladas, tendo sido maior para o grupo que, além das 3 unidirecionais, associou a trançada. Embora, segundo o autor, o posicionamento das fibras não tenha sido o ideal, uma vez que foram posicionadas ao nível oclusal. O uso da fibra trançada próxima aos pilares aumentou a resistência dos retentores.

Também em 1998, Stipho procurou estudar o efeito de diversas concentrações de fibras de vidro na forma de pequenos feixes, nas propriedades mecânicas de uma resina autopolimerizável à base de PMMA. Avaliou-se a resistência flexional, a deformação e o módulo de elasticidade dos corpos-de-prova em resina, variando a concentração em peso (1%, 2%, 5%, 10% e 15%) das fibras na sua mistura. Encontrou um aumento significativo na resistência flexional dos grupos reforçados com as concentrações de 1% e 2% de fibras, ao passo que, maiores concentrações provocaram diminuição dessa resistência, resultado da perda de homogeneidade e aumento da porosidade.

Keif & Uzun (2001) avaliaram o efeito sobre a resistência à fratura de diferentes concentrações de fibras de vidro, misturadas a matriz polimérica de uma resina acrílica autopolimerizável convencional para a fabricação de PPFp à base de polimetacrilato de etila e butilmetacrilado (Dentalon Plus). Para tanto, confeccionaram corpos-de-prova na forma de barras com 60 x 10 x 4 mm. Misturaram pedaços de 3mm das fibras à matriz, tendo utilizado concentrações de 0.5, 1.0 e 1.5% em peso, representando os grupos 1, 2 e 3, respectivamente. O grupo 4, controle, não recebeu adição de fibras. Teste de 3 pontos foi realizado numa velocidade de compressão de 5mm/min. Apresentaram valores maiores para a concentração de 0.5% em peso, única proporção que superou o grupo controle. As outras concentrações apresentaram valores numéricos inferiores ao apresentados pelo controle, dando a entender um enfraquecimento da resina pelo aumento da concentração, apesar de estatisticamente não ter sido significativo. Relataram que o aumento da concentração de fibras na matriz pode favorecer o aparecimento de vazios, enfraquecendo, em função disso, a estrutura.

Uzum & Keif (2003), avaliaram o efeito da incorporação de fibras de vidro e de aramida na resistência à fratura de corpos-de-prova construídos em resina acrílica autopolimerizável, sob influência do armazenamento em água. Para tanto, construíram corpos-de-prova na forma de barras 60 x 10 x 4 mm, divididos em três grupos (fibra vidro, aramida e não reforçado – controle) com 8 corpos-de-prova cada. Realizaram testes de carga de 3 pontos nos corpos-de-prova a uma velocidade de 5 mm/min em todos os grupos com 1 e 30 dias após armazenamento em água destilada à temperatura ambiente, objetivando avaliar a influência dessa sobre a resistência à fratura, deflexão máxima e módulo de elasticidade.

Recortes de 50 mm de comprimento (espaço intersuportes) e 6 mm de largura das fibras foram umedecidos no monômero e posicionadas no centro dos corpos-de-prova. Obtiveram valores de resistência à fratura para o grupo das fibras de vidro ligeiramente superiores numericamente em função das de aramida e o grupo controle, que foram praticamente iguais, porém estatisticamente esse aumento foi insignificante. A estocagem em água fez os valores de resistência à fratura tornarem-se menores, porém também não foram estatisticamente significantes.

Pfeiffer & Grube (2003) avaliaram a carga máxima de fratura de PPFPP confeccionadas com vários materiais e extensões de vãos. Confeccionaram corpos-de-prova padronizados a partir de uma matriz metálica, na forma de prótese fixa de 3, 4 e 5 elementos com distâncias interpilares de 12, 19 e 30 mm, respectivamente. As alturas das conexões foram de 4.3mm (na distal do primeiro pilar e mesial do último) e 7mm (no meio do vão) para todos os grupos e extensões de próteses. Ou seja, a única variável foi a extensão. Os corpos-de-prova do grupo 1 possuíam apenas um pântico, representado por um pré-molar; os do grupo 2, um pré-molar e um molar e os do grupo 3, dois molares. Utilizaram para confecção dos corpos-de-prova uma resina termoplástica à base de poliéster – Promysan Star<sup>®</sup> (1), um compósito termoplástico para “veneer” à base de poliéster - Promysan Star<sup>®</sup> / Vita Zeta<sup>®</sup> (2), um compósito para “veneer” reforçado com fibras de polietileno não impregnadas – Ribbond<sup>®</sup>/Sinfony<sup>®</sup> (3), um compósito para “veneer” reforçado com fibras de polietileno impregnadas – Vectris<sup>®</sup>/Targis<sup>®</sup> (4) e PMMA – Biodent K+B Plus<sup>®</sup> (5), que serviu de grupo controle. Os corpos-de-prova foram submetidos a envelhecimento sobre ciclagem térmica (5000 ciclos, com 5-55<sup>o</sup> C). As próteses foram fixadas com cimento provisório sobre os pilares e submetidas a teste compressivo de 3 pontos, com velocidade de 1mm/min. Análise comparativa dos resultados, revelou que a targis/vectris (4) apresentou valores superiores em relação aos outros grupos para todas as distâncias interpilares. Para os outros materiais, o grupo controle (5) – PMMA - foi semelhante a resina termoplástica à base de poliéster – Promysan Star<sup>®</sup> (1). Os mais baixos valores foram obtidos pelo compósito termoplástico para “veneer” à base de poliéster - Promysan Star<sup>®</sup> / Vita Zeta<sup>®</sup> (2). Porém, o aumento da extensão não influenciou a carga máxima de fratura em nenhum dos grupos, fato não discutido e explicado pelos autores.

Saygili *et al.* (2003), comparando o efeito das fibras de vidro (E-glass) silanizadas com Silicer e de aramida (Kevlar) sobre a resistência à fratura de próteses provisórias - PMMA, atestaram que os corpos-de-prova com o reforço de fibra e estocados em água por 7 dias apresentaram a maior resistência transversa com aumento de 70% em relação ao

controle. O reforço de Kevlar (aramida) apresentou valores 20% mais baixos do que os apresentados pelas fibras de vidro.

Pfeiffer & Grube em 2006, utilizando, com pequenas diferenças, a mesma metodologia e materiais apresentados no estudo de 2003 (onde avaliaram a influência da extensão do vão interpilar sobre a carga máxima de fratura), avaliaram o efeito da altura do pântico sobre a mesma carga. Confeccionaram corpos-de-prova padronizados na forma de próteses fixas de 4 elementos e vão interpilar de 19mm. As alturas das conexões, que foram de 4.3mm (na distal do primeiro pilar e mesial do último) e 7mm (no meio do vão), foram aumentadas para 5.8mm e 8.8mm nos referidos locais, formando o segundo grupo teste. Revelaram valores entre 197,4 N para o grupo controle (PMMA) com altura de 4.3mm até 893,7 N para a Vectris®/Targis® (4), com altura de 5,8mm. Todos os outros passos metodológicos realizados no estudo de 2003 foram repetidos para os mesmos materiais. Análise estatística revelou diferença significativa apenas entre o grupo Vectris em prol dos demais, que se mostraram estatisticamente iguais. Porém, não mostrou significância para o aumento de 20% em altura das conexões, ou seja, de 4.3 para 5.8, atestando que o aumento da altura, segundo essa proporção, não afetou a carga máxima de fratura, exceto para o grupo controle (PMMA).

Hamza *et al.* (2006) realizaram um estudo duplo. Na primeira parte, avaliaram a resistência à fratura de uma resina acrílica em relação aos reforços aplicados (fibra de vidro unidirecionais silanizadas e pré-impregnadas – Fibrestick, feixe de fibras de polietileno tratadas com plasma – Ribbond, feixe de fibras de polietileno tratadas com plasma, silanizadas e pré-impregnadas – Construct e fio de aço inoxidável de 1,0 mm de diâmetro), comparadas a um grupo sem reforço. Para tanto, a partir de um molde metálico, utilizaram 25 corpos-de-prova padronizados na forma de cubos de 15 x 4 mm, contendo um entalhe na sua porção central, como elemento iniciador da fratura. Tiras de cada reforço com 12mm de comprimento foram posicionadas perpendicularmente ao entalhe e, conseqüentemente, à direção da fratura. Foram umedecidos e incorporados seguindo determinação do fabricante. Ficaram armazenados em água destilada 24h antes dos testes de carga que foram realizados a uma velocidade compressiva de 5 mm/min. Dentro das limitações do estudo, todos os reforços aplicados aumentaram estatisticamente a resistência à fratura dos corpos-de-prova. O fio de aço apresentou o pior resultado e mesmo assim superou o controle (não reforçado) em aproximadamente 32,8%, enquanto que o Fibrestick, em 119,2%, e Construct, em 107,2%, tendo sido estatisticamente semelhantes. O aumento proporcionado pelo Ribbond triaxial foi

de 70%. Na segunda parte, confeccionaram PFP de 3 elementos e avaliaram a influência da aplicação dos reforços ao nível dos terços inferior, médio e oclusal. Essa parte do estudo (ou outro estudo) está descrito em “local de aplicação dos reforços”, mais à frente nesse trabalho.

Vojdani & Khaledi, em 2006, avaliaram a resistência à fratura de corpos-de-prova retangulares (65 x 10 x 3.3 mm), confeccionados em resina acrílica termopolimerizável reforçados com fios metálicos rígidos de  $\varnothing$  1 mm (grupo II) e dois tipos de fibras de vidro pré-impregnadas: trançadas (Stick Net) – grupo III e unidirecionais (Stick) – grupo IV. Os fios metálicos foram jateados com óxido de alumínio (50 - 250  $\mu$ m). Todos os grupos receberam os respectivos materiais de reforço na forma de pedaços com 60 mm de comprimento. Foram comparadas a um grupo sem reforço (grupo I). As fibras foram imersas em monômero por 10 min, antes da inserção na matriz resinosa, visando maior união com o PMMA. Realizaram teste compressivo de 3 pontos a uma velocidade de 5 mm/min, sendo a distância intersuportes (vão) de 50 mm. Todos os materiais reforçaram os corpos-de-prova, numa proporção de 14, 30 e 50%, para fios, fibras trançadas e unidirecionais, respectivamente.

Geerts *et al.* (2008) compararam a resistência à fratura de 2 materiais comumente utilizados para confecção de PFP, o PMMA autopolimerizável e a resina bis-acrílica (BAC), reforçados com fios lisos de aço inoxidável com  $\varnothing$  1mm (diâmetro), feixe de fibras de vidro  $\varnothing$  1,5 mm trançadas e de polietileno de  $\varnothing$  3mm. Para tanto, usaram corpos-de-prova na forma de barras padronizadas de 3 x 6 x 26 mm (largura x espessura x comprimento), possuindo um entalhe de 3 mm na porção inferior, correspondendo a metade da altura do corpo-de-prova, local indutor da fratura. Os reforços foram aplicados através de pedaços de 27mm, posicionados a 1,5 mm acima do entalhe, ficando recobertos por 1,5 mm de resina. Ou seja, considerando a altura total do corpo-de-prova (6mm), foram posicionados no terço superior. Porém, considerando a área de resina a partir do entalhe (3mm) foram posicionados ao centro dessa área residual, eixo neutro das cargas de tensão e compressão. Os testes foram feitos numa máquina teste de compressão a uma velocidade de 1 mm/s. Comparativamente, os corpos-de-prova reforçados com fios metálicos apresentaram a maior média, enquanto com fibras de polietileno, a menor. A aplicação das fibras de polietileno, segundo essa metodologia, apresentaram média de valores inferiores aos do grupo controle, tendo, assim, enfraquecido o corpo-de-prova, apesar de estatisticamente não significante; ou seja, foram iguais ao controle (sem reforço). Também estatisticamente não houve diferença entre fios e

fibras de vidro, mas eles superaram o controle. A resina PMMA apresentou valores inferiores aos apresentados pela BAC.

Dogan *et al.* (2008) realizaram esse estudo para determinar se algumas das propriedades de flexão do PMMA podiam ser melhoradas através da inserção de cinco tipos de fibras estéticas sem tratamento de superfície – E glass, rayon, poliéster, nylon 6 e nylon 6,6 - na concentração de 3% em peso e com 2, 4 e 6 mm de comprimento. Através de uma matriz metálica, confeccionaram amostras padronizadas em cera na proporção de 70 x 25 x 2mm (comprimento x largura x espessura) e formato retangular. A partir da inclusão dessas em mufla, seguindo o padrão convencional para próteses termopolimerizáveis, foram obtidos 5 corpos-de-prova, por grupo. Para os grupos reforçados, os pedaços de fibras de diferentes comprimentos por grupo, foram misturadas à massa acrílica para inclusão, respeitando-se os 3% em peso de concentração. Após acabamento e avaliação, foram estocados em água destilada por 24h antes dos testes de 3 pontos, realizados a uma velocidade de 5mm/min. Dos reforços testados, as fibras de vidro apresentaram os maiores e o nylon 6,6 os piores valores de carga de fratura. Porém, todos os valores dos grupos teste foram inferiores aos do grupo controle. Ou seja, segundo a metodologia, os reforços enfraqueceram a resina acrílica.

Fahmy & Sharawi (2009) compararam a resistência à fratura de 3 resinas para PPF, reforçadas com mechas metálicas e fibras de polietileno silanizadas. Uma resina bis-acrílica (Protemp II - 3M ESPE), um polivinilmetacrilato - PVEMA (Snap – Parkell) e o PMMA (Duralay - Reliance Dental). Para confecção dos corpos-de-prova, usinaram num torno uma matriz metálica. Essa possuía uma base com dois pilares não anatômicos, mas com proporções equivalentes a um segundo pré-molar e um segundo molar e uma matriz externa adaptável que os envolvia, deixando um espaço linear de 1,5mm em torno dos pilares e um vão entre eles de 11mm. Os espaços foram preenchidos pelas resinas em 3 incrementos sequenciais, de modo a evitar maior contração de polimerização e presença de vazios e bolhas. As mechas metálicas foram assentadas interpilares, percorrendo todo o vão, enquanto que uma tira de 18,5 mm de fibras de polietileno foi cortada em pedaços e distribuídos ao longo do vão, representando 3% em peso e se acomodando na mesma porção dos corpos-de-prova do que as mechas metálicas, ou seja, no terço oclusal dos mesmos. A matriz foi então totalmente preenchida, os excessos removidos e uma placa de vidro mantinha uma pressão constante até a presa total do material. Para os grupos controle repetiram todo o processo, exceto a incorporação dos reforços. Os corpos-de-prova foram assentados corretamente sobre os pilares e foram submetidos a uma carga constante e compressiva no meio do vão, numa máquina universal de ensaio, com velocidade de 0,5mm/min. Observaram que dos materiais

testados houve supremacia do PMMA, em relação aos outros. No tocante aos reforços aplicados, estatisticamente só houve efetividade do reforço das fibras de polietileno sobre o PMMA. As mechas metálicas não apresentaram-se efetivas sobre nenhuma das resinas testadas.

Basant & Reddy (2011) avaliaram a influência do tratamento com silano e local de aplicação das fibras de vidro unidirecionais sobre a resistência à fratura de PPFPP com diversos tamanhos / comprimentos de vãos, confeccionadas em resina autopolimerizável. Para tanto, encerraram e simularam próteses de 3, 4 e 5 elementos, com distâncias interpilares de 11, 18 e 28,5 mm, respectivamente. Confeccionaram 35 (trinta e cinco) PPFPP de cada comprimento, divididos em 5 (cinco grupos), com 7 (sete) corpos-de-prova cada, variando o tratamento superficial do reforço e local de aplicação: Grupo I - não reforçado (controle); Grupo II – fibras sem tratamento, distribuídas aleatoriamente; Grupo III – fibras sem tratamento, aplicadas seletivamente; Grupo IV – fibras tratadas, distribuídas aleatoriamente e Grupo V – fibras tratadas, aplicadas seletivamente. Para a aplicação seletiva, elegeram as superfícies oclusal(is) e inferior(es) do(s) pântico(s), inserindo uma tira de fibra de comprimento equivalente aos vãos das próteses em cada local. Para a distribuição aleatória, utilizaram pequenos pedaços recortados, misturando-os à matriz resinosa. Para avaliação da resistência à fratura, realizaram teste de 3 (três) pontos, a uma velocidade de compressão de 2mm/min. A média para os grupos controles foi de 273N até 998 N, sendo inversamente proporcional ao tamanho do vão. Para os grupos reforçados esses valores subiram para 536 – 1642 N. A maior efetividade ocorreu para os grupos onde as fibras receberam tratamento superficial, tendo sido maior naquele onde a sua instalação foi realizada seletivamente (grupo V). Porém, os autores sugeriram, com base nos resultados obtidos, que para ambos os grupos onde as fibras receberam tratamento superficial, os valores (774-1642N) superam a força máxima de oclusão para região de molar, estabelecida entre 600 – 1200N, sabendo-se da limitação do estudo. Atestaram ainda que a influência do reforço foi melhor observada percentualmente nas PPFPP com vãos mais longos, apesar dos valores menores em relação aos vãos de menor comprimentos.

## **2.2 Influência do tratamento superficial / adesão do reforço ao PMMA**

Grant & Greener, desde 1967, já preocupavam-se com a adesão e nesse trabalho com fibras de alumínio descreveram que a aplicação de silano sobre o reforço aumenta sua

atividade superficial, permitindo uma melhor transferência das tensões da matriz de PMMA para as fibras e melhorando as propriedades mecânicas das resinas acrílicas.

Solnit (1991) avaliou o efeito do silano sobre a resistência à fratura do PMMA autopolimerizável reforçado com fibras de vidro silanizadas e sem tratamento superficial. Estudou a resistência à fratura de 3 tipos de fibras, tendo dividido os corpos-de-prova entre os seguintes grupos. O grupo I, não reforçado; Grupo II, contendo 15 corpos-de-prova, sendo 5 para cada tipo de fibra, cortadas em diferentes comprimentos. Foram umedecidas com monômero sendo o excesso removido antes da sua aplicação; Grupo III, subdivido do mesmo modo, porém as fibras foram imersas no agente silanizador por 5 minutos e completamente secas, antes da incorporação. Realizou teste de 3 pontos a uma velocidade compressiva de 5mm/min. As fibras de vidro não foram capazes de reforçar os corpos-de-prova. Porém, comparativamente entre os grupos, aqueles onde as fibras sofreram tratamento superficial apresentaram valores superiores aos não tratados em 2, dos 3 tipos de fibras analisadas. No grupo II, onde as fibras foram incorporadas à matriz, sem qualquer tratamento, estas enfraqueceram o PMMA. Em um dos grupos, a silanização reduziu comparativamente os valores em relação ao grupo não silanizado. O autor explica os resultados com uma suspeita de não efetividade da silanização e pouca impregnação da fibras pela matriz, porém não faz nenhuma análise microscópica para tanto. Também relata que a disposição das fibras é importante. As trançadas possuem maior capacidade de reforço, em detrimento daquelas fibras soltas, que podem enfraquecer a matriz. Ressalta ainda a importância de secar completamente as fibras após a remoção das mesmas do agente silanizador, antes de incorporação à matriz, afirmando ser este fato bastantes importante.

Vallittu, em 1993, pesquisou o efeito do uso de duas fórmulas de silano, A174 e AP133, na adesão entre fibras de vidro, carbono e aramida, todas unidirecionais, e uma resina à base de PMMA, através de teste de carga. Somente o composto A174 aumentou significativamente a adesão entre a resina e as fibras de vidro e aramida, porém nenhum dos tipos de silano causou efeito relevante sobre as de carbono. Porém, defendeu com Lassila & Lappalainen, no ano seguinte, que uma ótima adesão entre as fibras e a matriz do polímero é essencial para o aumento da resistência mecânica e que essa pode ser conseguida e aumentada pelo uso de um composto de silano. Nesse estudo, evidenciaram a presença de bolhas na interface fibra-resina onde se localizou a fratura, mas atribuíram a presença das mesmas à contração de polimerização do monômero metil(metacrilato) no qual as fibras foram imersas

antes de sua incorporação à massa da resina acrílica, que é de cerca de 21% contra 8% do polímero PMMA.

Vallittu (1995) afirmou que macro e micro-retenções têm sido indicadas para proporcionar melhor adesão mecânica da matriz acrílica com o metal, tendo-se observado melhor efetividade nas segundas em prol das primeiras, principalmente quando jateados com óxido de alumínio de 50 µm até 250 µm. O mesmo autor, auxiliado por Vojtkova & Lassila no mesmo ano, comparando a influência de fios metálicos e fibras de vidro sobre a resistência ao impacto, preparou os fios e os umedeceu com monômero para proporcionar melhor penetração da resina nas micro-irregularidades obtidas pelo jateamento. As fibras também foram inseridas numa mistura do polímero (PMMA) + monômero (MMA), com o mesmo objetivo.

O mesmo autor, no ano seguinte (1996), fez uma revisão de literatura sobre a aplicação de fibras de carbono, aramida, polietileno e vidro enquanto reforços para resinas acrílicas PMMA. Afirmou que a adesão e cobertura total das fibras pela matriz torna-se fundamental para a transferência de carga dessa para as primeiras, auxiliando em sua dissipação. A silanização das fibras de vidro auxilia nesse processo, segundo teoria da molhabilidade. Vazios não devem estar presentes entre as fibras e a matriz, pois repercutem negativamente nos resultados. Por esse motivo (tratamento superficial mais efetivo) as fibras de vidro se destacam das demais. O umedecimento das fibras com monômero antes da inclusão à prótese também foi realizada por muitos autores. Em contrapartida, o envolvimento total das fibras pela matriz protege, de certa forma, as fibras da umidade. Encontrou a maior efetividade para as fibras de vidro incorporadas em 58% em peso e que a maior dificuldade do aumento dessa concentração é obter sua perfeita impregnação e evitar seu deslocamento do local adequado na prótese no momento da prensagem. Ou seja, o aumento da concentração é fato favorável ao aumento da resistência à fratura, porém até o “ponto de saturação” da resina acrílica. Afirmou que, segundo a literatura, o tratamento com plasma não foi efetivo sobre o aumento da resistência à fratura para as fibras de poli(etileno) em alguns estudos, tendo apresentado melhores resultados para a resistência ao impacto.

Vallittu (1998) utilizou fibras de vidro unidirecionais (uma, duas ou três) e afirmou que a pré-impregnação presente na superfície das fibras facilita o molhamento pela matriz do polímero. Esse molhamento leva à plastificação, por dissolução, da camada de polímero poroso, maior impregnação das fibras e, conseqüentemente, melhor adesividade, comprovada através de microscopia eletrônica em outro estudo no ano seguinte.

Vallittu, em 1999, pesquisou a resistência à flexão de polímeros à base de PMMA auto e termopolimerizáveis utilizados para a confecção de fixas provisórias reforçadas com um sistema de fibras de vidro unidirecionais e trançadas, pré-impregnadas com um polímero poroso. Observou que ambos os reforços aumentaram significativamente a resistência flexional dos polímeros estudados e que esta resistência foi maior para as fibras unidirecionais do que para as trançadas.

Saygili *et al.* (2003) procurando melhorar a adesão das fibras de vidro e aramida (Kevlar) com a matriz PMMA, as imergiram em monômero por 20 minutos e depois removeram os excessos. Os testes revelaram aumento da resistência transversa de 50% (Kevlar) a 70% (fibras de vidro) em relação a um grupo sem reforço (controle).

Pfeiffer & Grube (2006) testando alguns materiais resinosos a partir de testes compressivos realizados sobre corpos-de-prova na forma de próteses de 4 elementos e vão de 19mm, encontraram resultados para resistência à fratura mais de 2 vezes maior (223%) para o grupo do material reforçado com fibras de polietileno impregnadas (Vectris<sup>®</sup>/Targis<sup>®</sup>), em prol daquelas não (Ribbond<sup>®</sup>/Sinfony<sup>®</sup>), com valores de 280,7 N para 625,9 N.

Vojdani & Khaledi, em 2006, mediram a resistência à fratura de corpos-de-prova confeccionados em resina acrílica termopolimerizável, reforçados com fios metálicos de  $\varnothing$  1 mm e fibras de vidro. Utilizaram o jateamento com óxido de alumínio (250  $\mu$ m) como tratamento superficial para os fios metálicos e imergiram as fibras pré-impregnadas (unidirecionais – Stick - e trançadas – Stick Net) em monômero por 10 minutos, visando maior união com o PMMA. Todos os materiais reforçaram os corpos-de-prova, numa proporção de 14, 30 e 50%, para fios, fibras trançadas e unidirecionais, respectivamente.

Çökeliler *et al.* (2007) avaliaram o efeito da fibra de vidro tratada e três diferentes monômeros (HEMA, TEGDME e EDA) sobre a melhoria das propriedades mecânicas do poli(metilmetacrilato). Para o estudo, confeccionaram corpos-de-prova na forma de barras com 30 x 5 x 8 mm com resina acrílica termopolimerizável. Tiras de 30 mm de fibras unidirecionais (E-glass) foram cortadas e inseridas no molde, representando 1% em peso. Foram umedecidas com 1 ml dos 3 diferentes monômeros, representando os 3 grupos teste. Foram confeccionados 8 corpos-de-prova por grupo, os quais foram guardados secos à temperatura ambiente até os testes de carga de 3 pontos a uma velocidade de 5 mm/min. Os corpos-de-prova do grupo controle não receberam fibras. A avaliação superficial (física) foi realizada através de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) com aumento de 4000

vezes (foto) e a química através de difração de raio X. Os resultados de resistência à fratura revelaram os maiores valores para o grupo das fibras umedecidas com EDA, seguido pelo TEGDME e HEMA, tendo sido da ordem de 36%, 15% e 10%, respectivamente.

Dogan *et al.* (2008), testando a resistência à fratura de corpos-de-prova retangulares com 70 x 25 x 2 mm confeccionados em PMMA termopolimerizável reforçados com fibras de vidro, polietileno e nylon sem tratamento superficial e distribuídas aleatoriamente na massa acrílica, representando 3% em peso, obtiveram resultado negativos para os testes, onde os materiais enfraqueceram a resina.

Basant & Reddy (2011) avaliaram a influência do tratamento superficial com silano e imersão em monômero de fibras unidirecionais, aplicadas de forma seletiva e dispersa (aleatória) através de pequenos recortes das tiras, sobre o aumento da resistência à fratura de PPF de 3 extensões diferentes, confeccionadas em acrílico autopolimerizável. Aplicaram uma metodologia semelhante a de Pfeiffer & Grube (2003) e para análise comparativa, dividiram os corpos-de-prova por grupos. Em dois deles, as fibras (tanto dispersas quanto seletivamente posicionadas) receberam tratamento com silano, enquanto nos outros dois, não. A silanização foi realizada mergulhando as fibras por 5 (cinco) minutos numa placa de petri contendo um agente de união à base de etanol entre 70 e 80% (RelyX primer cerâmico, 3M ESPE). Após isso, foram retiradas e completamente secas. Na sequência, mergulharam as tiras em monômero puro do mesmo modo, umedecendo-as por 10 (dez) minutos. Após esse período, foram removidas e o excesso do líquido, retirado. Para os grupos das fibras não silanizadas, apenas o segundo processo foi realizado, tendo sido feito de igual maneira. Os grupos cujas fibras receberam tratamento com silano conferiram aos corpos-de-prova os maiores valores de resistência à fratura, quando comparadas com as não silanizadas, especialmente naqueles vãos mais longos. Para as PPF com vãos de 11mm, esse aumento foi de 22% para as dispersas e de 27% para as posicionadas seletivamente. Naquelas com 18 mm de vão, esses valores foram 17% e 55% respectivamente. E para as de 28,5 mm, esses valores foram de 47% e 87%.

Até sob o quesito resistência à fadiga, a silanização das fibras parece influenciar positivamente nos resultados. Gurbuz *et al.*, em 2011, trabalhando com fibras de vidro com diversas configurações, constataram a maior eficiência das trançadas em função das unidirecionais, diferentemente do que se observa para os testes de resistência à fratura. Como durante a fadiga, o material não sofre uma carga única e progressiva num só sentido, exibindo um mecanismo de distribuição de força multidirecional, torna uma malha fibrosa capaz de

dificultar os vários sentidos de propagação das trincas. Porém, encontraram que as fibras não foram suficientemente eficazes para melhorar a propriedade de resistência à fadiga do material em termos estatísticos, indo de encontro aos achados da literatura e atribuíram esse fato a utilização de fibras não silanizadas.

### **2.3 Local de aplicação do reforço**

Solnit (1991) testando a resistência à fratura de corpos-de-prova reforçados com 3 tipos de fibras com comprimentos variados, dispersas aleatoriamente na matriz resinosa com e sem tratamento superficial com silano, não foram estatisticamente capazes de reforçar o PMMA. Pelo contrário, nos grupos onde essas não foram silanizadas, enfraqueceram-no.

Powell *et al.* (1994) confeccionaram próteses provisórias em PMMA, reforçadas com um fio de 0,9 mm de diâmetro ou com fibras de aramida (Kevlar), além de um grupo sem reforço. Notificaram que os fios proporcionaram maior rigidez entre os grupos e que os corpos-de-prova cujos reforços foram posicionados na região mais inferior apresentaram maior resistência à fratura do que aqueles cujos reforços situavam-se mais próximos à superfície oclusal. Justificaram seus resultados baseando-se na “Lei de flexão das vigas”: quando uma viga está sob ação de uma carga compressiva no centro e equidistante entre dois pontos de suporte, a força aplicada induz tensão de compressão na região superior e tensão de tração na região inferior. Os reforços utilizados nas resinas e polímeros odontológicos são mais eficientes quando posicionados fora do eixo neutro no interior da prótese, o mais inferiormente possível em relação ao centro, onde freqüentemente a fratura tem início (lado de tração).

Vallittu, em 1995, realizou uma revisão na literatura, a fim de avaliar a aplicação de fios metálicos lisos, malhas ou placas de diversas composições e formas ao PMMA. Encontrou que esses foram mais efetivos quando aplicados no lado de tensão dos corpos-de-prova.

Em 1998, Stipho procurou estudar o efeito de diversas concentrações de fibras de vidro na forma de pequenos feixes dispersos aleatoriamente na massa resinosa sobre as propriedades mecânicas de uma resina autopolimerizável à base de PMMA. Avaliou a resistência flexional, a deformação e o módulo de elasticidade dos corpos-de-prova em resina, variando a concentração em peso (1%, 2%, 5%, 10% e 15%) das fibras na sua mistura.

Encontrou um aumento significativo na resistência flexional dos grupos reforçados com as concentrações de 1% e 2% de fibras, ao passo que, maiores concentrações provocaram diminuição dessa resistência, resultado da perda de homogeneidade e aumento da porosidade.

Vallittu, em 1998, utilizando um teste compressivo sobre corpos-de-prova na forma de PPFp de 3 elementos reforçadas com 1, 2, 3 fibras de vidro unidirecionais e 3 unidirecionais + 1 trançada, todas pré-impregnadas e incorporadas na superfície oclusal, obteve valores superiores de forma crescente em relação ao grupo controle, não reforçado. Porém, comenta no trabalho a dificuldade de posicionamento e manipulação das fibras, tendo conseguido posicioná-las no terço oclusal, sendo que o terço inferior deveria ser o ideal para aumentar ainda mais a sua efetividade.

Nohrstrom *et al.*, em 2000, estudaram a influência de fibras de vidro unidirecionais (Stick) e em feixes (Stick Net) aplicadas conjuntamente e a influência da distância interpilares sobre a resistência à fratura de PPFp. Para tanto, simularam PPFp com diferentes comprimentos de vãos: 10 (grupo 1), 17 (grupo 2) e 19,5 mm (grupo 3). Cada um dos grupos foi testado através de 4 (quatro) subgrupos, com 6 (seis) corpos-de-prova cada, dependendo do local de aplicação dos reforços no pântico: sem reforço - controle (1), reforço oclusal (2), reforço inferior (3) e reforços oclusal e inferior (4). Teste de compressão a uma velocidade de 5mm/min foi realizado. Observaram entre os subgrupos “controle” uma diminuição da resistência à fratura de 55% e 65% quando aumentou o tamanho do vão de 10 para 17 e 19,5mm, respectivamente. Quanto a influência das fibras, sua eficiência foi mais evidente para os grupos 2 e 3, tendo obtido valores crescentes de resistência à fratura para a aplicação apenas oclusal, inferior e ambas. Concluíram que a utilização do reforço na parte inferior do pântico, associado a um outro localizado próximo à superfície oclusal dos pilares, pode aumentar a resistência à fratura de próteses provisórias.

Uzum & Keif (2003), utilizando fibras de aramida e vidro pré-impregnadas, umedecidas com monômero antes da incorporação, no centro de corpos-de-prova com 60 x 10 x 4 mm confeccionados em acrílico autopolimerizável, não obtiveram aumento estatisticamente significante da resistência à fratura quando comparado a um grupo não reforçado. Esses valores foram menores após estocagem em água por 30 dias, porém também não foi algo estatisticamente significante.

Ellakwa *et al.* (2003), apesar de terem trabalhado nesse estudo com compósito e não resina acrílica, realizaram um interessante estudo onde avaliaram a influência da posição do reforço de polietileno de alto peso molecular sobre a resistência à fratura de corpos-de-prova de 25 x 3 x 3 mm. Dividiram os corpos-de-prova em 5 grupos, iniciando com a instalação do reforço a 0,5 mm da porção mais inferior do lado de tensão (terço inferior) e distanciando-se desse a cada 0,5 mm em direção ao lado de compressão (terço mais superior). Realizaram teste de 3 pontos a uma velocidade de 1mm/min, posicionando os suportes a 20 mm, ou seja, criando um vão interpilar com a referida medida. Observaram e concluíram que houve uma considerável diminuição da resistência à fratura a partir do deslocamento do reforço superior a 1.5 mm (centro do corpo-de-prova). Porém, analisando a tabela de valores para resistência à fratura, apenas o marco 0,5 mm foi estatisticamente significativo. Os autores relataram nesse trabalho ainda que todos os corpos-de-prova reforçados apresentaram fraturas do tipo não separada, onde os fragmentos permaneceram unidos, enquanto no grupo controle, o modo de fratura catastrófica, com desprendimento total dos fragmentos, foi relatado.

Tacir *et al.* (2006) compararam a resistência flexural de corpos-de-prova confeccionados em resina PMMA, reforçados com fibra de vidro, segundo duas técnicas de polimerização por calor: termopolimerizável convencional e polimerizada por microondas. Utilizando uma matriz metálica com 65 x 10 x 3mm (comprimento x largura x espessura) confeccionaram 80 padrões de cera a ser incluídos em muflas, originando os corpos-de-prova que foram divididos em 4 grupos com 20 amostras cada: 2 para resina termopolimerizável convencional e outros dois para resina de microondas. Estes foram divididos em controle (sem reforço) e teste, reforçados com pedaços de 5mm de fibras de vidro dispersas aleatoriamente na massa acrílica, representando 2% em peso. Foram mergulhadas em monômero por 10 min e depois secas para remover o excesso. Os corpos-de-prova foram estocados em água destilada por 5 semanas, onde foram submetidas a ensaio de compressão com velocidade de 2mm/min, num teste de 3 pontos. Observaram maior resistência à fratura para resina convencional em prol da de microondas, sendo essas reforçadas em aproximadamente 8% contra 11% para as primeiras.

Hamza *et al.* (2006), após observarem a maior efetividade das fibras – Fibrestick - em relação aos outros materiais aplicados como fibras de polietileno e fio metálico de 1mm, pesquisaram, na segunda parte desse estudo, a influência do posicionamento dessas nos terços oclusal, médio e cervical do pântico de uma PFP, quanto a resistência à fratura e integridade marginal. Construíram uma base metálica com pilares não anatômicos representando um pré-

molar e um molar, com distância interpilar de 10mm. As tiras com a mesma extensão do vão (10 mm) foram cortadas e devidamente posicionadas, representando os grupos I, II e III. Um grupo não reforçado, IV, serviu de controle. As PFP foram posicionadas sobre os preparos e uma força de 30 N aplicada para promover o assentamento. A adaptação marginal foi analisada através de um microscópio em locais pré-determinados para aferição das medições, antes e após os testes de carga de 3 pontos e velocidade de 5 mm/min. Do ponto de vista de resistência à fratura, a colocação do reforço no terço cervical superou estatisticamente todos os outros. Contudo as fibras não foram eficazes no quesito integridade marginal dos retentores.

Vojdani & Khaledi, em 2006, trabalhando com reforços (fios metálicos de  $\varnothing$  1 mm e dois tipos de fibras de vidro, unidirecional e trançada) aplicados no centro de corpos-de-prova retangulares de resina acrílica termopolimerizável, relataram que todos os materiais reforçaram os corpos-de-prova, numa proporção de 14, 30 e 50%, para fios, fibras trançadas e unidirecionais, respectivamente.

Geerts *et al.* (2008) compararam a resistência à fratura de PFP confeccionadas em PMMA autopolimerizável e a resina bis-acrílica (BAC), reforçados com fios lisos de aço inoxidável com  $\varnothing$  1mm (diâmetro), feixe de fibras de vidro  $\varnothing$  1,5mm trançadas e de polietileno de  $\varnothing$  3mm. Segundo sua metodologia, os reforços foram aplicados no eixo neutro dos corpos-de-prova (centro), tendo revelado valores médios de resistência à fratura muito próximos, onde os fios metálicos superaram as fibras de vidro, tendo as fibras de polietileno apresentado valores inferiores ao do grupo não reforçado – controle.

Dogan *et al.* (2008), testando a resistência à fratura de corpos-de-prova retangulares com 70 x 25 x 2 mm confeccionados em PMMA termopolimerizável reforçados com fibras de vidro, polietileno e ryon sem tratamento superficial e distribuídas aleatoriamente na massa acrílica, representando 3% em peso, obtiveram resultado negativos para os testes, onde os enfraqueceram a resina.

Basant & Reddy (2011), utilizando de metodologia muito semelhante a de Nohrstrom *et al.* (2000), avaliaram PFP com diferentes tamanhos de vãos, reforçadas com fibras de vidro silanizadas, posicionadas seletivamente no terço oclusal e inferior dos pânticos contra pedaços de fibras dispersas na resina acrílica autopolimerizável, relataram o aumento

estatisticamente significativa das primeiras, tendo sido verdadeiro para todos os grupos e mais evidente nas próteses de vãos mais extensos.

Brentano *et al.* (2012), avaliando a influência da secção do fio ortodôntico circular (0.7mm) e retangular (0.48 x 0.63 mm) e do seu local de aplicação (terço inferior, médio e superior) sobre a resistência à fratura de uma resina acrílica autopolimerizável utilizada para PPF, confeccionaram 70 barras de 25 x 3 x 3 mm. A partir de um teste compressivo de 3 pontos, verificaram que os fios retangulares foram mais efetivos do que os circulares. Esses só apresentaram-se superiores ao grupo controle quando o reforço foi posicionado na porção inferior, tendo sido igual ao retangular posicionado medialmente. Ou seja, tanto o fio circular posicionado no meio ou no terço superior, assim como o retangular superior foram iguais ao controle, afirmando que dessa maneira poderiam ser dispensados. O maior efeito foi obtido pelo fio retangular posicionado inferiormente. No presente estudo, o aumento foi de 90% para o fio retangular e 39% para o fio circular na posição inferior.