UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE BAURU

PAULO FUKASHI YAMAGUTI

**Análise da técnica de fundição rápida segundo a adaptação
cervical de infra-estrutura de liga à base de Ni-Cr e expansões de
presa e térmica de quatro revestimentos**

BAURU
2007

PAULO FUKASHI YAMAGUTI

Análise da técnica de fundição rápida segundo a adaptação cervical de infra-estrutura de liga à base de Ni-Cr e expansões de presa e térmica de quatro revestimentos

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Bauru da Universidade de São Paulo para obtenção do título de doutor em Odontologia.

Área de concentração: Reabilitação Oral
Orientador: Prof. Dr. José Henrique Rubo

BAURU
2007

Yamaguti, Paulo Fukashi
Y14a Análise da técnica de fundição rápida segundo a
adaptação cervical de infra-estrutura de liga à base de Ni-Cr
e expansões de presa e térmica de quatro revestimentos /
Paulo Fukashi Yamaguti. -- Bauru, 2007.
96p. : il. ; 30cm.

Tese. (Doutorado) -- Faculdade de Odontologia de
Bauru. Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. José Henrique Rubo

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a
reprodução total ou parcial desta tese, por processos fotocopiadores e outros
meios eletrônicos.

Assinatura:

Data:

DEDICATÓRIAS

À Siomara,

Em momento de lamentação e desânimo, sempre esteve presente para me lembrar as milhares de coisas maravilhosas que já aconteceram em nossas vidas.

Aos meus pais,

Muito obrigado por me disciplinar, que me ajudou a dizer sim a um objetivo de vida e dizer não a muitos outros.

Ao Prof. Rubo,

A minha satisfação por ser seu orientado não somente por suas qualificações acadêmicas, mas principalmente por não se ufanar como muitos e manter a sua simplicidade.

AGRADECIMENTOS

Aos colegas Luiz Gustavo, Renato, Rafael, Ayub, Jefferson, Osvaldo, Leylha, Marly, Marinelle, Paulo, Tatiany, Ana Lúcia e Ricardo pela convivência e colaboração durante a minha estada em Bauru.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação, área de Reabilitação Oral, Prof. Dr. Accácio Lins do Valle, Prof. Dr. Carlos dos Reis Pereira Araújo, Prof. Dr. Gerson Bonfante, Prof. Dr. Luiz Fernando Pegoraro, Prof. Dr. Paulo César Rodrigues Conti, Prof. Dr. Paulo Martins Ferreira, Prof. Dr. Wellington Cardoso Bonachela e Prof. Dr. Ricardo Marins de Carvalho.

Às funcionárias Deborah Blasca, Ana Cláudia Mattar e Valquíria Nogueira.

Aos técnicos Reivanildo Viana, Marcelo Giatti e Sidnei Martins pela colaboração laboratorial.

Para a CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

À Polidental por gentilmente ceder o seu laboratório e equipamentos para aferição das expansões de presa e térmica dos revestimentos.

À Prof^ª. Dr^ª Jane Elizabeth Kraus pela revisão do texto.

Aos demais docentes do Departamento de Prótese da Faculdade de Odontologia de Bauru - USP.

EPÍGRAFE

“Divido o mundo entre aqueles que aprendem e os que não aprendem. Há pessoas que aprendem, que se mostram abertas ao que acontece à sua volta, que escutam, que ouvem as lições. Quando fazem alguma coisa idiota, não a repetem. E, quando fazem algo que funciona um pouco, fazem ainda melhor e dando mais duro da próxima vez. A pergunta a fazer não é se você é um sucesso ou um fracasso, mas se é um dos que aprendem ou dos que não aprendem”

Benjamin Barber

RESUMO

Estudos recentes têm demonstrado que o aprimoramento dos revestimentos odontológicos para o uso da técnica de fundição rápida pode ser considerado uma realidade no seu uso diário no laboratório de prótese. Desta forma, obtêm-se peças metálicas fundidas em menor tempo, produz-se mais em pouco tempo e, diminuem-se os custos sem perda da qualidade. Mesmo assim, ainda há incógnitas sobre como estes revestimentos se expandem. Imagina-se que para obter a melhor adaptação cervical é necessária a maior expansão total do revestimento, mas alguns estudos têm demonstrado que outros fatores podem ser determinantes para obter a melhor adaptação cervical. O objetivo deste trabalho foi averiguar a adaptação cervical de infra-estruturas metálicas à base de Ni-Cr obtidas com quatro revestimentos odontológicos para a técnica de fundição rápida e analisar as expansões de presa e térmica dos mesmos. De cada revestimento foram obtidos 10 corpos de prova. Na análise da expansão de presa e térmica utilizou-se 3 corpos de prova de cada revestimento. Para a análise estatística, utilizou-se o ANOVA e o Teste de Tukey. Estas análises demonstraram que o uso do revestimento Heat Shock resultou na melhor adaptação cervical, seguido do Flash, Bellavest SH e Micro-Fine 1700. Na expansão de presa, no período de 15 minutos após a inclusão, nenhum dos revestimentos havia completado a sua total expansão. Na expansão térmica, dentro do forno no período de 20 minutos, todos os revestimentos apresentaram a expansão completada dentro de 15 minutos. Conclui-se que todos os revestimentos têm o potencial a oferecer peças fundidas com adaptação cervical adequada e que a obtenção da mesma não depende apenas da maior expansão total, mas também do comportamento da expansão de presa e da expansão térmica. Há também indícios de que a resistência à compressão do revestimento desempenha importância considerável.

Palavras-chave: Adaptação marginal. Técnica de fundição odontológica.
Revestimento para fundição odontológica.

ABSTRACT

Analysis of accelerated casting technique in accordance with marginal adaptation of Ni-Cr crown and curing expansion and thermal expansion of four investments

With the improvement of dental investments for accelerated casting technique, recent studies have demonstrated that the procedure can be considered safe for daily use in the dental laboratory. Thus, cast pieces can be obtained in less time, the prosthetic work as a whole can be speed up and costs are cut with no quality compromise. Even though, there are still unanswered questions on how investments expand. It is thought that to reach the best cervical adaptation the greatest investment total expansion is needed, but some studies have demonstrated that other factors can be determining. The aim of this study was to verify the cervical adaptation of nickel-chromium crowns cast using four dental investments for the accelerated casting technique and to analyze the curing and thermal expansion of such investments. For each investment, ten samples were obtained. For thermal expansion analysis three samples of each investment were used. For statistical purposes ANOVA and Tukey tests were used. The use of Heat Shock yielded the best results of cervical adaptation, followed by Flash, Bellavest SH and Micro-Fine 1700. For thermal expansion, 15 minutes after investment, none of the investments had reached their complete expansion. After 20 minutes inside the oven all investments had completed their expansion. It was concluded that all investments tested are suitable to offer cast pieces with adequate cervical adaptation. Adaptation depends not only of the greatest total expansion, but also of the curing and thermal expansion. There are indications that investment compression strength plays an important role on the technique.

Keywords: Marginal Adaptation. Dental casting technique. Dental casting investments.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURAS

Figura 1 -	A) Troquel metálico com o espaçador oclusal (EO) e o espaçador cervical (EC); B) Esquema com as medidas do troquel metálico com o espaçador oclusal e sem o espaçador cervical; C) Esquema com as medidas do troquel metálico com o espaçador oclusal e cervical	53
Figura 2 -	A) Padrão metálico com os espaçadores oclusal e cervical, a matriz tubular (MT) e o anel metálico (AM); B) Padrão metálico fixo na matriz metálica tubular excedendo 1,0 mm da porção oclusal; C) Anel metálico inserido no conjunto para permitir espaço adequado para a confecção dos padrões de cera: espessura de 1,0 mm na cervical e 1,0 mm na oclusal	54
Figura 3 -	A) todo o conjunto metálico e o padrão de cera (PC) solidificado pronto para ser removido; B) O conjunto com o anel metálico (AM) e sem a matriz tubular; C) O conjunto sem a matriz tubular e o anel metálico; D) Padrão de cera fixado ao suprue e à base formadora de cadinho	55
Figura 4 -	Microscópio comparador	57
Figura 5 -	A) Conjunto das três buchas de redução B1, B2 e B3; B) B2 conectado ao B1; C) B3 conectado ao B2, internamente ao B1	58
Figura 6 -	Esquema dos encaixes das buchas B1 e B2: A) B2 sendo encaixado no B1; B) B2 encaixado em B1	58
Figura 7 -	Esquema do encaixe da bucha B3: A) B3 sendo encaixado em B2 pelo bocal maior de B1; B) B3 encaixado em B2	58
Figura 8 -	A) 4 pares de abaixador de língua de madeira mais 4 protetores adesivos de feltro sintético circular colados no interior de B1; B) Webcam Logitech® QuickCam® Pro 5000 desmontada; C) Webcam encaixada no interior de B1	59

Figura 9 - O conjunto de buchas com a webcam acoplada no visor do microscópio. A imagem do microscópio era enviada, via webcam, para o notebook Toshiba S-141	59
Figura 10 - A) Padrão metálico sem os espaçadores oclusal e cervical, e uma infra-estrutura ideal que é fruto de uma fundição precisa, D = medida da borda oclusal do padrão metálico até a borda da infra-estrutura ideal; B) A borda cervical do espécime ficou aquém do ideal (D1); em função da infra-estrutura; C) A borda cervical do espécime ficou além do ideal (D2); em função da sobre-expansão	60
Figura 11 - A) Sobre uma placa acrílica maior (PAM) havia um relógio comparador fixo (RCF) em outra extremidade uma placa acrílica T fixa (PTF). As outras três placas eram móveis (PM); B) Medidas de todo o conjunto anterior	61
Figura 12 - A) Bloco de latão para obtenção do revestimento em forma de bastão, orifícios (O) no centro da calha; B) Os dois blocos de latão unidos, anel metálico fechado e anel metálico aberto para estabilizar os dois blocos; C) Os dois blocos de latão unidos pelos anéis metálicos, orifício (O) onde será inserida uma haste metálica; D) Medidas da metade do bloco de latão; E) Medidas do bloco de latão em seção transversal	62
Figura 13 - A) Bloco metálico aberto após 20 minutos, bastão de revestimento com o orifício no seu centro; B) Fio do termopar inserido no orifício do bastão de revestimento; C) Duas extremidades do termopar: uma se abre em dois fios que se conectava a um termômetro de resistência elétrica; a outra com os dois fios unidos para serem inseridos no orifício do bastão de revestimento; D) Termômetro de resistência elétrica	63
Figura 14 - A) Bastão de quartzo e tubo de quartzo; B) Dispositivo para fixar o relógio comparador no tubo de quartzo; C) Dispositivo fixo no tubo de quartzo de forma que o Indicar o está tocando levemente	64

Figura 15 - A) Painel de controle do forno; B) Forno tubular com uma abertura no seu topo; C) Conjunto para realizar a mensuração da expansão térmica posicionado no interior do forno tubular	65
Figura 16 - Média de desajuste marginal (mm) entre os diferentes revestimentos (R1 – R4)	70
Figura 17 - Média da expansão de presa (mm), nos primeiros 16 minutos, com os revestimentos na proporção de líquido especial de 75%	72
Figura 18 - Média da expansão térmica (mm), durante 20 minutos, com os revestimentos na proporção de líquido especial de 75%	74
Figura 19 - Média da expansão total (mm), revestimentos (R1 – R4) na proporção de líquido especial de 75%	75

- QUADRO

Quadro 1 - Esquema das condições do experimento	56
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias das desadaptações (mm) das infra-estruturas metálicas com diferentes revestimentos (R1 – R4) usando a técnica de fundição rápida	69
Tabela 2 - Análise de variância dos dados da Tabela 1	69
Tabela 3 - Teste de Tukey para encontrar diferença significativa entre os grupos representados por diferentes revestimentos (R1 – R4)	70
Tabela 4 - Médias das expansões de presa (mm) dos quatro tipos de revestimentos no tempo de 2 a 16 minutos	71
Tabela 5 - Análise de variância dos dados da Tabela 4	71
Tabela 6 - Teste de Tukey para encontrar diferenças entre grupos	72
Tabela 7 - Médias das expansões térmicas dos revestimentos em mm no tempo de 2 a 20 minutos	73
Tabela 8 - Análise de variância dos dados da Tabela 7	73
Tabela 9 - Expansão total dos revestimentos em mm	74
Tabela 10 - Análise de variância da Tabela 9	75

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	REVISÃO DE LITERATURA	29
2.1	Expansões do revestimento odontológico	31
2.2	Técnica de fundição rápida	36
3	PROPOSIÇÃO	45
4	MATERIAL E MÉTODOS	49
4.1	Liga metálica	51
4.2	Revestimentos	51
4.2.1	Revestimento aglutinado por fosfato ultra-fino, isento de Ca, para fundição em alta temperatura e fundição rápida	51
4.2.2	Revestimento aglutinado por fosfato para alta temperatura de fusão e fundição rápida	52
4.2.3	Revestimento aglutinado por fosfato para alta temperatura de fusão e fundição rápida	52
4.2.4	Revestimento à base de cerâmica granulada para alta temperatura de fusão e fundição rápida	52
4.3	Troquel metálico	53
4.4	Matriz para confecção do padrão de cera	53
4.5	Padrões de cera	54
4.6	Inclusão	55
4.7	Fundição	56
4.8	Desinclusão	56
4.9	Determinação do desajuste	57
4.10	Medida da expansão de presa	60
4.11	Obtenção do bastão de revestimento para a verificação da expansão térmica dentro do forno	62
4.12	Análise Estatística	65
5	RESULTADOS	67
5.1	Análise estatística dos desajustes marginais entre os revestimentos	69
5.2	Análise estatística da expansão de presa dos revestimentos	71
5.3	Análise estatística da expansão térmica dos revestimentos	72
5.4	Análise estatística da soma da expansão de presa e térmica dos revestimentos	74
6	DISCUSSÃO	77
7	CONCLUSÕES	85
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
	APÊNDICE	95

1 INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

A primeira divulgação da técnica de fundição odontológica ocorreu no final do século 19. Desde então, procurou-se formas para compensar a contração da liga metálica e obter uma peça fundida com uma adequada adaptação cervical. A primeira tentativa foi por intermédio da expansão de cera. Porém, verificou-se que este método não era adequado, pois a cera não se expandia uniformemente (Scheu, 1933). A outra forma era fazer com que o revestimento se expandisse o suficiente para compensar a contração da liga áurea fundida. Por volta de 1933, havia dois métodos para compensar a contração da liga: a compensação térmica, na qual se procurava uma menor expansão de presa e uma maior expansão térmica; e a compensação higroscópica, em que a expansão de presa era maior que a térmica. Na época, a compensação térmica foi contra-indicada pelo fato da superfície do metal fundido apresentar-se com muitas irregularidades, que interferiam na adaptação final. Além disso, os revestimentos à base de gesso não suportavam um longo período dentro do forno (Scheu, 1933).

Foi por volta de 1943 que o método da compensação higroscópica prosperou, principalmente com o advento da liga alternativa à base de níquel-cromo (Ni-Cr). Foi demonstrado, para este tipo de liga, que a melhor técnica de fundição era a que utilizava combinação da expansão higroscópica, expansão de presa e expansão térmica para compensar a sua alta contração de fundição (Weiss, 1977). Além disso, o revestimento para esta liga deveria suportar a alta temperatura no interior do forno e a alta temperatura de fundição da liga. O revestimento que surgiu foi à base de fosfato. Este revestimento e as três formas de expansão se tornaram o padrão de fundição odontológica para se obter infra-estruturas metálicas para prótese parcial fixa.

Atualmente, com a melhoria das propriedades dos revestimentos fosfatados, a expansão higroscópica não é mais um requisito necessário, sendo que, surgiram novos tipos de revestimentos (Takahashi; Kitahara; Kubo, 2004) e uma outra técnica de fundição (Campagni; Majchrowicz, 1991). Com esta nova técnica de fundição, a duração do procedimento é reduzida em até $\frac{1}{4}$ do tempo e ficou conhecida como técnica de fundição rápida. Os revestimentos para o seu uso são o tradicional revestimento fosfatado, o cerâmico, o à base de alumina e o à base de zircônio (Takahashi et al., 1990; Takahashi; Kitahara; Kubo, 2004). Este novo procedimento

tem o propósito de beneficiar o laboratório, o cirurgião dentista e o paciente. O laboratório de prótese pode diminuir custos, aumentar a sua produtividade e satisfazer os cirurgiões dentistas que exigem um menor tempo para entregar um trabalho protético como nos casos de prótese sobre implantes com função imediata. Além disso, tem-se a garantia de que a nova técnica não irá interferir de forma negativa na interface entre a infra-estrutura metálica e o dente/implante. Os pacientes podem ter o conforto e a satisfação de ter um tratamento odontológico breve e sem perda da qualidade.

Os primeiros artigos que se referiam à técnica de fundição rápida não a recomendavam ou a viam com cautela (Jones; Wilson, 1968; Campagni; Majchrowicz, 1991; Murakam et al., 1994; Blackman, 2000; Yamaguti, 2002). Porém, em artigos recentes, o procedimento se mostra realmente adequado para a confecção de uma infra-estrutura metálica (Konstantoulakis et al., 1998; Schilling et al., 1999; Zequetto, 2005; Yan; Takahashi, 2006), sendo que, também é possível o seu uso com o procedimento da técnica da expansão higroscópica (Marchiori, 2004) e para fundição de titânio (Yan; Takahashi, 2006).

Como os estudos demonstravam que uma grande expansão de presa acabava interferindo na adaptação final (Scheu, 1933; Stevens; Okamoto; Jorgensen, 1985; Papadopoulos; Axelsson, 1990; Takahashi et al., 1990), as pesquisas começaram a focar o desenvolvimento de um revestimento com expansão de presa mínima, mas com uma expansão térmica suficiente para compensar a contração da liga metálica (Takahashi et al., 1990; Earnshaw; Morey; Edelman, 1997; Takahashi et al., 1999; Yan; Takahashi, 2006).

Na verdade, estaríamos voltando ao método da compensação térmica que foi preconizada por Scheu (1933). A técnica de fundição rápida indica uma expansão de presa mínima e uma expansão térmica suficiente para compensar a contração da liga metálica. Entretanto, ainda não se sabe o comportamento destes revestimentos para fundição rápida em relação à sua expansão de presa e térmica.

O intuito deste trabalho é avaliar quatro revestimentos para fundição rápida, três deles fosfatados e um cerâmico, em função da adaptação cervical de infra-estruturas confeccionadas com uma liga à base de Ni-Cr. Outra análise a ser realizada é a quantidade de expansão de presa desses revestimentos no tempo de 16 minutos após a sua espatulação e a expansão térmica no interior de um forno por um período de 20 minutos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta revisão de literatura nos atemos às literaturas científicas dos últimos 20 anos e alguns artigos posteriores a este período relevantes a este trabalho. Esta seção será dividida em dois tópicos: revisão de literatura sobre expansão do revestimento odontológico e uma revisão de literatura sobre a técnica de fundição rápida.

2.1 Expansão do revestimento odontológico

Veremos neste tópico que sempre houve uma busca incessante para encontrar uma forma de se compensar a contração de fundição de determinadas ligas metálicas. Esta procura vai desde a utilização da expansão da cera, às três formas de expansões (higroscópica, presa e térmica), passando pela tentativa de se eliminar alguma das formas de expansão, até os dias atuais em que há indícios de que o revestimento ideal é aquele que possa utilizar predominantemente a expansão térmica. E o avanço nas pesquisas nessa área tem levado ao surgimento de novos tipos de revestimentos com expansão térmica mais estável.

No início do século passado, Scheu (1933) alertava em seus estudos, para evitar ou minimizar qualquer forma de expansão através do padrão de cera, que até então era muito utilizada. Na época em que esse autor trabalhava, havia duas formas de compensar a contração do ouro: a técnica da compensação higroscópica e a da compensação térmica. Apesar de o autor apregoar que o revestimento ideal era o que apresentasse a mínima expansão de presa e a máxima expansão térmica, isso não era possível porque o revestimento à base de gesso apresentava limitações como obtenção de peças fundidas com maior irregularidade superficial e baixa resistência dentro do forno. Por isso, a melhor escolha recaía nos revestimentos que utilizavam a técnica da compensação higroscópica.

Ainda com relação ao método de compensação higroscópica e térmica, Suffert e Mahler (1955) estudaram quatro tipos de revestimentos para verificar as dificuldades que poderiam ser encontradas na obtenção de peças fundidas em ouro. Dois revestimentos eram para a técnica de compensação térmica e os outros dois revestimentos eram utilizados para a técnica de compensação higroscópica.

Verificou-se que nenhuma peça apresentava uma adaptação fiel, sendo nítida a diferença entre as duas técnicas no quesito adaptação na região cervical e oclusal. Os revestimentos usados para a técnica de compensação higroscópica apresentaram os melhores resultados no quesito adaptação e rugosidade superficial. Nestes revestimentos, porém, verificou-se uma menor expansão na região oclusal, demonstrando que a resistência da cera é um problema pontual na expansão de presa pelo método higroscópico. Assim, os autores acreditavam que era uma variável importante a ser considerada. Com relação aos revestimentos de compensação térmica, este estudo corrobora com a opinião de Scheu (1933) de que, apesar de ocorrer uma expansão uniforme na altura cervical e oclusal, o fator qualidade do revestimento interferiu no resultado final, ou seja, o fator rugosidade superficial tornou significativa a adaptação final.

O surgimento da liga à base de Ni-Cr e seu uso corriqueiro em substituição a liga áurea fez com que surgissem outros problemas relacionados à técnica de fundição. Segundo Weiss (1977), o revestimento mais utilizado na época (Complete, Jelenko Co.) apresentava uma expansão total de 2,4% com 100% de líquido especial. Este valor era suficiente para uso em ligas áureas, tendo ainda a possibilidade de poder ajustar a expansão de acordo com a quantidade de líquido especial. No caso de utilizá-lo com Ni-Cr seria necessário um intenso ajuste interno da infra-estrutura metálica e/ou o uso de um espaçador no troquel de gesso. Neste caso, o uso da técnica de expansão higroscópica se tornava mandatário, pois se saltava dos 2,4% para 3,4% de expansão total, que era necessária para compensar a contração da liga. Naquela época, os revestimentos de compensação térmica ficaram em segundo plano pelo fato de não atender à necessidade de se obter a máxima expansão possível.

Devido ao uso crescente do revestimento fosfatado para fundir o Ni-Cr e da técnica higroscópica, Stevens, Okamoto e Jorgensen (1985) investigaram a distorção do padrão de cera e do espaço interno oco resultante da expansão de presa e expansão higroscópica do revestimento fosfatado. Foram utilizados três revestimentos fosfatados e nestes, três diferentes líquidos foram usados: água destilada com 20% de glicerol, somente água destilada e líquido especial somente. Os resultados demonstraram que o uso destes três líquidos não foi compatível para obter uma adaptação adequada. Entretanto, apontaram que em um revestimento com expansão de presa nula, distorções do padrão de cera poderiam ser eliminadas

e uma melhor adaptação poderia ser obtida. Tendo a característica de baixa expansão de presa, seria necessária a criação de um revestimento com expansão térmica suficiente para compensar a contração da liga à base de Ni-Cr. Foi o momento adequado para intensificar as pesquisas a respeito de um revestimento que pudesse utilizar a técnica de compensação térmica com uma liga não nobre.

Como até então a técnica da compensação térmica era aplicada somente a revestimento à base de gesso e nunca em revestimento fosfatado, Jörgensen e Watanabe (1986) iniciaram um estudo com um novo tipo de revestimento fosfatado da Whip Mix Corporation que apresentava uma expansão de presa quase nula e uma expansão térmica alta. Contudo, havia dificuldades e a principal era a resistência inicial até a temperatura de 300⁰C no forno, pois se não houvesse um aquecimento lento ocorria a fratura do bloco de revestimento. Como era um artigo demonstrando um teste piloto com os estudos ainda em andamento, os autores não tinham uma conclusão definitiva ainda. Os resultados parciais, porém, demonstravam a viabilidade do uso da técnica da compensação térmica neste revestimento fosfatado experimental. Era apenas uma questão de tempo para melhorá-lo e tê-lo no mercado futuramente.

No início da década de 90 iniciou-se o uso do titânio de forma corriqueira na Odontologia, principalmente devido ao uso dos implantes osseointegráveis. Na opção de fundir o titânio surgiram revestimentos com este propósito, geralmente à base de magnésio, alumina, zircônio e alguns revestimentos fosfatados. O interessante de alguns destes revestimentos é o fato de possuírem expansão de presa baixa e alta expansão térmica. Takahashi (1990) estudou a expansão de presa, expansão térmica e resistência à compressão de cinco revestimentos fosfatados: rema Exakt, Ceramigold, Complete, Tai-Vest e Full-Vest. Padrões de cera de restauração tipo mésio-oclusal-distal (MOD) foram confeccionados e a adaptação foi verificada a partir de cinco estruturas metálicas obtidas de cada revestimento. A melhor adaptação cervical ocorreu com os revestimentos rema Exakt, Tai-Vest e Full-Vest, os quais não apresentaram diferença significativa no quesito adaptação. O que chamou a atenção neste trabalho é que dos três revestimentos, o Full-Vest apresentou a maior expansão total, sendo que a expansão de presa também foi a maior. O Tai-Vest apresentou a menor expansão de presa e quase duas vezes menor que o Full-Vest. Os resultados demonstraram uma correlação positiva nos revestimentos com mínima expansão de presa e maior

expansão térmica, resultando em melhor adaptação cervical. Foi demonstrando também que a máxima expansão total para obter a melhor adaptação nem sempre é verdade. Segundo os autores, o fator expansão de presa e a conseqüente distorção da cera contribuíram no resultado final da adaptação. Outro dado relevante obtido foi em relação ao fator resistência à compressão: um revestimento com baixa resistência à compressão permitiu uma contração mais uniforme da liga em relação a um revestimento com alta resistência à compressão.

Começava a se confirmar a hipótese de que o revestimento ideal é aquele que não somente apresente uma adequada expansão de presa e térmica, mas também uma baixa resistência para permitir a contração uniforme da liga metálica. Para confirmar esta hipótese, Earnshaw, Morey e Edelman (1997) estudaram os efeitos do potencial de expansão dos revestimentos à base de fosfato e sua resistência em relação à temperatura de fundição para confeccionar uma coroa total, com uma liga de alto conteúdo de ouro. Foram utilizados dois revestimentos fosfatados: Ceramigold (Whip Mix Corporation) e Ceramigold 2 (Whip Mix Corporation), este com o propósito de apresentar uma baixa resistência à compressão. Assemelha-se ao revestimento fosfatado experimental que Jörgensen e Watanabe (1986) estavam desenvolvendo, com baixa expansão de presa e alta expansão térmica. Com o revestimento Ceramigold formaram-se três grupos: 1) 100% de líquido especial, uso de camada de celulose seca e presa na bancada; 2) 75% de líquido especial, uso de camada de celulose hidratada e presa na bancada; 3) 75% de líquido especial, uso de camada de celulose hidratada e uso da técnica de expansão higroscópica com água a 38°C. Com o revestimento Ceramigold 2, não se utilizou líquido especial, mas foi utilizada camada de celulose hidratada e presa na bancada. Os três tipos de tratamento do Ceramigold demonstraram três tipos diferentes de expansão de presa e térmica. O tratamento 1 apresentou a menor expansão total, sendo que a expansão térmica foi maior que a de presa e no teste de resistência foi o que mostrou o maior valor. No tratamento 2, a expansão total foi significativamente maior que a do tratamento 1 e a expansão de presa também foi significativamente maior que a térmica. O valor no teste de resistência foi significativamente menor que o do tratamento 1. No tratamento 3, a expansão total foi a maior de todas, a expansão térmica foi mínima e a expansão de presa foi significativamente maior que no tratamento 2. O valor no teste de resistência foi significativamente menor que o do tratamento 2. O comportamento do Ceramigold 2

quanto à expansão total foi semelhante ao do tratamento 2, porém com a expansão térmica duas vezes menor, foi o revestimento que apresentou a menor resistência à compressão. Com relação à adaptação das peças, o fator resistência influenciou no resultado final, sendo que o Ceramigold 2 apresentou os melhores resultados, quase duas vezes melhor que o tratamento 2. E mais uma vez o fator expansão de presa interferiu no resultado final sendo que a maior expansão de presa indica uma pior adaptação. Segundo os autores, a melhor adaptação deveria ser o resultado de um revestimento com baixa resistência a compressão, baixa expansão de presa e expansão térmica suficiente para compensar a contração da liga.

Nos testes até então realizados, a expansão do revestimento, era mensurada a partir da superfície externa. Takahashi et al. (1999) acreditavam que teriam resultados mais precisos se pudessem mensurar a partir da porção interna do revestimento. Para tanto, desenvolveram um método e um aparelho que media a expansão de presa no sentido horizontal e vertical a partir da porção oca do revestimento. O objetivo era investigar a expansão de presa utilizando dois tipos de consistência de cera, dura e mole, e uma resina acrílica. O uso da resina foi justificado devido a algumas estruturas de prótese sobre implante partirem de estruturas plásticas rígidas que suprimem a expansão de presa e que podem interferir na expansão total e na adaptação final. Com relação às ceras, a de consistência dura demonstrou uma expansão não uniforme horizontal entre a região oclusal e cervical. A região cervical expandiu mais pelo fato de estar livre, diferente da oclusal em que existe uma “ponte” de um lado ao outro unindo a peça. Na cera de consistência mole a expansão foi muito mais uniforme, mas mesmo assim, a região oclusal apresentou restrição na expansão horizontal. As duas últimas observações demonstraram que o fator distorção da cera é um item importante a ser considerado. No teste com a resina não houve expansão horizontal tanto na região oclusal como na cervical. Isto significa que há a necessidade de um revestimento com expansão térmica suficiente para compensar a contração da liga. Este trabalho veio confirmar que a adaptação das peças muitas vezes era comprometida pela falta de expansão na região oclusal.

Dando continuidade a seus trabalhos que visavam melhorias nos revestimentos odontológicos, Takahashi, Kitahara e Kubo (2004) começaram a procurar outros meios que aumentassem a expansão térmica do revestimento. Para estes autores, a forma para se compensar a contração de uma liga metálica, até

aquele momento, era através das expansões de presa e térmica. Como a expansão de presa provoca deformações no padrão de cera, uma das soluções propostas foi obter uma expansão de presa mínima e expansão térmica máxima. Este fator é crítico, principalmente nos casos que se incluem padrões de resina acrílica para estruturas de prótese sobre implante e quando o intuito é fundir o titânio. Procurando uma alternativa à expansão térmica através da inversão de fases do quartzo e cristobalita, os autores experimentaram acrescentar o carbeto de zircônio (ZrC) e o nitreto de zircônio (ZrN) em um revestimento contendo fosfato como material coesivo e o zircônio como material refratário. Com esta formulação esperava-se que ocorresse uma expansão por oxidação. Foram avaliadas a expansão de presa, a expansão térmica, a resistência à compressão e a adaptação de coroas metálicas de titânio. A formulação utilizada pelos autores fez com que a expansão de presa do revestimento fosse baixa (0,02%) e o acréscimo de ZrC e ZrN fez com que realmente ocorresse uma expansão térmica por oxidação, formando o óxido de zircônio (ZrO_2). Entretanto, o ZrC e ZrN apresentaram comportamentos diferentes para se fundir o titânio, o que consequentemente interferiu na mensuração da adaptação. Com o aumento da quantidade de ZrC na formulação ocorreu a diminuição da sua resistência à compressão, ocasionando fraturas do revestimento durante o processo de fundição. Com o aumento de ZrN na formulação também ocorreu a diminuição da sua resistência, mas não o suficiente para apresentar trincas ou fraturas durante o processo de fundição e, com uma quantidade de 7% na composição, mostrou excelentes resultados sob o aspecto de adaptação. Os autores puderam observar também que a compensação da contração de uma liga não depende apenas de uma maior quantidade de expansão térmica, mas o fator resistência à compressão também deve ser levado em conta uma vez que o revestimento deve permitir uma contração uniforme da liga metálica durante o esfriamento.

2.2 Técnica de fundição rápida

Neste item veremos que a técnica de fundição rápida já havia sido testada há quase quarenta anos atrás. Ressurgiu no início dos anos 90 para fundir núcleos

metálicos e desde então ocorreu um desenvolvimento para fundir infra-estruturas para prótese parcial fixa e para prótese sobre implantes.

Jones e Wilson (1968) estudaram as variáveis que poderiam afetar a expansão térmica dos revestimentos. Os revestimentos utilizados foram os fosfatados (Complete, Multi-Vest, Widerit e Wirovest), os à base de gesso (Calsite Inlay, Investral C, Kerr Model, Kerr Inlay e Sterling) e à base de sílica (C&J e Hartex). Duas das variáveis foram estudadas: a taxa de aquecimento no forno, 5°C, 10°C e 20°C por minuto, e o tempo de espera para se levar o bloco de revestimento ao forno depois de incluídos, uma hora ou 24 horas. Somente em dois revestimentos, os resultados foram significativos. O Kerr Inlay e o Complete apresentaram uma maior expansão térmica numa taxa de aquecimento de 20°C/min e também uma maior expansão térmica se aguardasse 24 horas. Neste último caso, a possível explicação seria o fato dos revestimentos apresentarem uma lenta reação de presa pela maior quantidade de líquido misturado ao pó. Segundo os autores, apesar da maior expansão térmica com taxa de aquecimento de 20°C/min, o resultado deve ser visto com muita cautela, principalmente relacionado ao revestimento à base de gesso que, pela alta expansão e acompanhada da mudança estrutural da cristobalita, pode resultar em fissuras e trincas, o que não aconteceu nos experimentos. Um outro teste foi realizado com os revestimentos à base de gesso que foi levá-lo a um forno pré-aquecido a 600°C e imediatamente aquecido até 750°C a uma taxa de 5°C por minuto. Este tipo de teste levou a uma diminuição da expansão térmica de até 20%. O mesmo teste foi realizado com os revestimentos fosfatados e houve somente uma pequena diferença em relação ao controle. Mesmo assim, os autores não recomendaram tal procedimento por sujeitar o bloco de revestimento a rachaduras comprometedoras.

Apesar deste estudo anterior, até o ano de 1983 não se sabia ao certo o momento ideal para se levar o bloco de revestimento ao forno. Para verificar isso, Stevens (1983) procurou analisar se a expansão seria afetada pelo tempo de espera da expansão de presa (uma hora, três horas e seis horas após a inclusão) até o momento do aquecimento no forno. No experimento, foi utilizado o revestimento fosfatado Ceramigold (Whip-Mix Corporation). Analisou-se a expansão de presa e a expansão térmica e o pó do revestimento foi misturado com um dos quatro tipos de diluição: 100% de líquido especial, 75% de líquido especial, 50% de líquido especial e somente água destilada. A expansão térmica foi medida somente durante os

120°C iniciais. Foi avaliado também um grupo utilizando a técnica da expansão higroscópica com o bloco em banho-maria a 38°C por 45 minutos. Observou-se que a expansão inicial diminuía na medida em que se levava mais tempo para iniciar o aquecimento no forno e também diminuía com o aumento da diluição do líquido especial. No grupo em que foi utilizada a técnica de expansão higroscópica, a expansão inicial foi muito menor que a do grupo da presa em bancada que utilizou 100% de líquido especial. Neste trabalho, segundo o autor, o calor pode acelerar a reação de presa do revestimento e conseqüentemente aumentar a expansão inicial. Assim, deve haver um tempo de espera ideal para obter o máximo de expansão do revestimento.

Com relação à taxa de aquecimento do bloco de revestimento dentro do forno, Papadopoulos e Axelsson (1990) reeditaram este tipo de estudo por considerarem a expansão térmica a mais importante para compensar a contração da liga. Na época de Jones e Wilson (1968), o controle da taxa de aquecimento era difícil e com o advento dos fornos automáticos este controle melhorou. Foi utilizado um revestimento fosfatado (Heravest Super), uma liga áurea (Olympia) e a adaptação verificada de peças obtida em coroas totais e MOD, conforme três variações de aquecimento dentro do forno: A= primeira fase de aquecimento a 19°C/min e segunda fase de aquecimento a 10°C/min; B= primeira fase de aquecimento a 5°C/min e segunda fase de aquecimento a 4°C/min; C= primeira fase de aquecimento a 11°C/min e segunda fase de aquecimento a 7°C/min. Como a expansão térmica ocorre devido à conversão de fase α para fase β da cristobalita e quartzo, é importante que haja tempo de aquecimento suficiente para isso. Os resultados demonstraram que quanto mais rápido a temperatura aumentar, maior a dificuldade para que haja a conversão de fases. Para os autores houve indícios de que deve haver uma velocidade de aumento de temperatura em que ocorre uma ótima conversão de fase α para a fase β .

Muitos anos depois de Jones e Wilson (1968), Campagni e Majchrowicz (1991) realizaram o procedimento em que o bloco de revestimento era levado rapidamente a um forno pré-aquecido, para fundir o núcleo intra-radicular. Iniciou-se este procedimento com a confecção do núcleo em resina acrílica e terminou-se com a obtenção da peça fundida, que foi concluída no período de uma hora. Os autores a chamaram de técnica de fundição rápida. O processo convencional de fundição demorava aproximadamente três horas. Os autores utilizaram um revestimento

fosfatado (Jelenko - Dental Health Products, Armonk, N.Y.) e 50% de líquido especial. O revestimento foi vazado num anel metálico de fundição e o tempo de espera da presa foi de quinze minutos. A seguir, o anel foi levado a um forno pré-aquecido a 700°C e aí mantido por 15 minutos. Na fundição utilizou-se ouro tipo III. Concluiu-se que a técnica de fundição rápida pode ser utilizada com sucesso para confecção de núcleos, mas foram sugeridas mais pesquisas a respeito.

Apesar de Campagni e Majchrowicz (1991) terem demonstrado a técnica de fundição rápida, os japoneses há algum tempo já realizavam experimentos com esta técnica. Já havia inclusive no mercado japonês revestimento próprio para tal intento, só que o revestimento desenvolvido era à base de gesso. Murakami et al. (1994) foram os primeiros a apresentar na literatura internacional esta técnica com revestimento à base de gesso. Foram avaliadas a adaptação marginal, resistência à fratura e os aspectos superficiais das peças fundidas, utilizando três revestimentos aglutinados por gesso próprios para fundição acelerada (Noritake Cristobalite F - Noritake Co; Cristobalite PF - Shofu Inc.; Cristoquick II - GC Corp.) e um revestimento aglutinado por gesso convencional (Cristobalite Micro - GC Corp.). A liga utilizada foi de ouro-prata-paládio (Castwell MC, GC Corp.). Nos revestimentos de fundição rápida foram esperados 30 minutos de presa e, logo após, levados a um forno a 700°C e mantidos por 30 minutos. E no revestimento convencional seguiu-se o procedimento de fundição convencional. Segundo os autores, a fundição rápida em tais revestimentos tornou-se possível devido ao acréscimo de quartzo em suas formulações. Tanto é verdade que no revestimento convencional Cristobalite Micro ocorreram fraturas quando submetido ao aquecimento rápido. Dentre os revestimentos de fundição rápida, o Cristoquick II apresentou a expansão de presa mais rápida, e após 60 minutos, não houve alteração na sua expansão, enquanto nos outros dois revestimentos ocorreu expansão de presa lenta, que continuou até 120 minutos após a mistura. Foi exatamente o Cristoquick II que apresentou a melhor adaptação em relação aos outros dois. Segundo os autores, este fato e outros estudos têm demonstrado que quanto maior a expansão de presa e mais rápida a sua presa, pelo menos nos trinta primeiros minutos, obtém-se uma melhor adaptação da peça fundida.

O revestimento convencional apresentou a melhor adaptação quando comparado ao Cristoquick II. Mesmo assim, os autores consideraram que o desajuste de 80 micrômetros do Cristoquick II pode ser considerado aceitável

cl clinicamente. A maior desadaptação pode estar relacionada também com a maior rugosidade ocasionada pela fundição rápida, mas os autores também consideraram a rugosidade obtida aceitável clinicamente. Ou seja, concluiu-se que a técnica de fundição rápida utilizando o revestimento à base de gesso é viável.

Como houve o desenvolvimento de um revestimento à base de gesso próprio para a fundição rápida, outras companhias começaram a pesquisar e lançar revestimentos fosfatados para o mesmo fim. Uma das primeiras foi o PowerCast (Whip Mix Corp.) que também apresentava uma maior quantidade de quartzo na sua composição e foi estudada por Konstantoulakis et al. (1998). Estes autores avaliaram a adaptação marginal e a rugosidade superficial de coroas totais obtidas com a técnica de fundição rápida e convencional. Além do PowerCast, outros quatro revestimentos convencionais foram incluídos no estudo: Complete (Jelenko Co.); Ceramigold (Whip Mix Corp.); Cera Fina (Whip Mix Corp.) e Hi-Temp (Whip Mix Corp.). Somente o PowerCast foi vazado em anel de fundição não rígido. Os outros revestimentos foram vazados em anel metálico, com uma camada de celulose não hidratada. A liga utilizada foi a altamente nobre (ouro-paládio). Surpreendentemente, os resultados demonstraram que não havia diferença significativa na adaptação e rugosidade entre os revestimentos. Os revestimentos convencionais testados não são próprios para a fundição rápida e nem os fabricantes recomendam. Segundo os autores, ainda não há explicação científica do porquê deste sucesso relativo. O temor de trincas ou até mesmo da explosão do bloco de revestimento dentro do forno pré-aquecido não se confirmou. Somente no revestimento Ceramigold ocorreram trincas no topo dos blocos, mas que não chegaram a afetar o resultado final. Para os autores, este fato ocorreu provavelmente devido à espatulação e inclusão terem sido realizados sob vácuo, tornando o bloco menos poroso e o escape de gases mais difícil o que levaria a fraturas ou trincas. Entretanto, o mesmo revestimento num teste piloto sem uso do vácuo não apresentou trincas ou fraturas. Assim, os autores concluíram que a técnica de fundição rápida pode ser uma alternativa para se ganhar tempo.

Um ano mais tarde, Schilling et al. (1999) questionaram os resultados de Konstantoulakis et al. (1998), acreditando que o pequeno número de corpos de provas poderia ter sido o responsável por não ter ocorrido diferença significativa na adaptação das peças. Com isso, os autores realizaram o mesmo estudo, mas com um número maior de corpos de prova e utilizaram apenas um revestimento

aglutinado por fosfato (Ceramigold, WhipMix Corp.). O resultado obtido foi o mesmo de Konstantoulakis et al. (1998): não houve diferença significativa na adaptação marginal entre a técnica de fundição convencional e a de fundição rápida. Para os autores, a fundição rápida pode realmente ser uma alternativa que consome menos tempo que a técnica de fundição convencional. Além do quê, à medida que o técnico em laboratório obtiver maior experiência repetindo o procedimento, melhor será o resultado obtido.

Blackman (2000) estudou três variáveis relacionadas à técnica de fundição rápida: grupo I, o tempo de espera da expansão de presa foi de 15 minutos e, logo em seguida, o anel levado a um forno a 704°C, com essa temperatura mantida por 15 minutos; grupo II, o tempo de espera foi de 30 minutos e, logo em seguida, levado a um forno a 704°C e essa temperatura mantida por 30 minutos; grupo III, o tempo de espera da presa foi de 60 minutos e levado ao forno em temperatura ambiente, que foi elevada até 648°C em 30 minutos e mantida por 60 minutos. Foram utilizados nesse estudo: uma réplica de molar preparado para receber uma coroa total; um revestimento fosfatado (Complete – Jelenko); anel metálico forrado com uma camada de celulose; e liga áurea Tipo III.

Após a fundição, verificou-se que, no grupo I, ocorreram três fraturas na superfície externa da coroa, próximo ao conduto de alimentação. Este acontecimento não foi considerado importante para julgá-las perdidas. No grupo II não ocorreram fraturas do modelo. É provável que em relação ao grupo I, o tempo utilizado não tenha sido suficiente para o revestimento atingir uma resistência adequada. O autor sugere que o tempo de presa é o mais importante para prevenir a fratura do revestimento, mas outros estudos são necessários para confirmar essa hipótese. Os três grupos não apresentaram diferença estatisticamente significativa na adaptação marginal. Contudo, a melhor adaptação do grupo II foi considerada inesperada e isto necessitaria de maiores investigações. Com relação à rugosidade superficial, os grupos I e II não apresentaram diferenças estatísticas diferentes, se comparado com o grupo III, mas o modo convencional demonstrou uma menor rugosidade. O autor conclui que a fundição rápida pode ser realizada com sucesso e ainda são escassas as publicações científicas a respeito dos motivos do sucesso clínico da fundição rápida utilizando revestimento fosfatado convencional.

Intrigado com o relativo sucesso da técnica de fundição rápida e o recente surgimento de revestimentos próprios para tal procedimento no mercado brasileiro,

Yamaguti (2002) testou três revestimentos, dois para técnica de fundição rápida (Micro-Fine 1700 e Heat Shock) e um para técnica de fundição convencional (Termocast). O objetivo do trabalho foi verificar qual revestimento e técnica de fundição proporcionava melhores resultados de adaptação cervical das estruturas metálicas obtidas com liga à base de Ni-Cr. Em seus resultados, o revestimento convencional apresentou os piores resultados de adaptação tanto na técnica de fundição rápida como na convencional. O revestimento cerâmico Micro-Fine foi o que apresentou os melhores resultados. Em relação à técnica de fundição, o procedimento rápido foi o que apresentou os piores resultados nos três revestimentos. Mesmo assim, segundo o autor, com o revestimento cerâmico Micro-Fine 1700 é viável a utilização da técnica de fundição rápida.

Segundo Mori e Aghajani (2003), a formação de um bloco de revestimento à base de gesso ocorre pela transformação termodinâmica ou método de calcinação molhada e seca, designado respectivamente de α -hemidrato e β -hemidrato. Ainda segundo os autores, dependendo da forma que se aquece o revestimento forma-se o α -hemidrato ou o β -hemidrato, o que de certa forma pode afetar na expansão térmica do revestimento. O intuito do trabalho dos autores foi provar a hipótese de que o aquecimento rápido melhora a expansão térmica devido à formação do α -hemihidrato. Formaram utilizados três revestimentos à base de gesso, dois para fundição rápida e um para fundição convencional. Formaram-se dois grupos: uma com a técnica de fundição rápida e outra a convencional. Com os resultados obtidos, observou-se no gráfico da expansão térmica uma constante ascensão; não houve um segmento demonstrando a contração do bloco de revestimento que geralmente ocorre numa fundição convencional devido à desidratação do gesso por volta dos 100⁰C e a transição III - II do CaSO₄ por volta dos 300⁰C. Observou-se também que a expansão térmica foi maior na fundição rápida do que na convencional. Os revestimentos à base de gesso podem ser compostos por cristobalita e/ou quartzo e parece que o quartzo apresenta uma maior resistência à fraturas do que a cristobalita. Foi interessante observar que o revestimento com a composição quartzo/cristobalita apresenta uma maior expansão térmica do que quando somente um dos componentes está presente. Segundo os autores, a maior expansão térmica na técnica de fundição rápida parece estar relacionada à formação do α -hemidrato.

Apesar da técnica de expansão higroscópica não ser utilizada rotineiramente nos dias atuais, Marchiori (2004) procurou verificar a viabilidade desta técnica mais a técnica de fundição rápida e ao mesmo tempo, verificar se o fator dureza da cera poderia interferir de alguma forma no resultado final. Uma das ceras utilizadas apresenta uma memória elástica (Galileu – Talladium) com ponto de fusão a 70°C. A outra cera é própria para confecção de fresas (CNG), com ponto de fusão de 90°C. Em seus resultados, na técnica convencional, não houve diferença significativa na adaptação entre as duas ceras. Já na técnica de fundição rápida, os resultados foram melhores que a técnica de fundição convencional. A cera CNG apresentou resultados estatisticamente melhores que a cera Galileu. Segundo o autor, o uso da técnica higroscópica é viável com a técnica de fundição rápida, sem ocorrência de trincas ou fraturas que pudessem interferir no resultado final.

Zequetto (2005) realizou um estudo comparando as técnicas de fundição convencional e rápida utilizando cera e resina acrílica como padrões e dois revestimentos. Um dos revestimentos era próprio para a técnica de fundição rápida (MicroFine 1700 - Talladium) e o outro para a técnica de fundição convencional (Termocast - Polidental). O que chama atenção neste trabalho é a observação de que com o revestimento MicroFine 1700, na técnica de fundição convencional, a cera apresentou um resultado estatisticamente melhor com relação à adaptação do que com a resina acrílica. Porém, na técnica de fundição rápida, não houve diferença significativa entre o uso do padrão de cera e o de resina acrílica e a adaptação foi melhor que na técnica convencional. A diferença de comportamento da cera e resina acrílica entre as duas técnicas de fundição parece indicar que o fator expansão exerce forte influência no resultado final.

Yan e Takahashi (2006) se propuseram a estudar os efeitos de se utilizar a técnica de fundição rápida com o titânio e o revestimento fosfatado. Foram avaliadas as expansões de presa, expansão térmica, resistência à compressão, adaptação de coroas metálicas totais, microdureza de Vickers e rugosidade superficial. Dois revestimentos fosfatados foram selecionados o Tancovest e o Rematitan Plus. Na comparação entre os revestimentos e a técnica de fundição, observou-se que na expansão total o revestimento Tancovest apresentou a menor expansão tanto na técnica rápida como na convencional. Sendo que este revestimento apresentou a menor expansão de presa e a maior expansão térmica. Já no teste da compressão, este revestimento apresentou a maior resistência à compressão a 900°C. Na

comparação entre as técnicas de fundição não houve diferença estatisticamente significativa. Tanto no teste de microdureza e rugosidade não houve diferença estatisticamente significativa entre os revestimentos e a técnica de fundição. Segundo os autores, pelos resultados obtidos pode-se afirmar que os revestimentos podem ser utilizados para fundir o titânio na técnica de fundição rápida.

3 PROPOSIÇÃO

3 PROPOSIÇÃO

Estudos recentes têm demonstrado a viabilidade do uso da técnica de fundição rápida. Devido às poucas informações na literatura a respeito do comportamento dos revestimentos na expansão de presa e térmica, julgou-se oportuno avaliá-los, verificando:

1) a adaptação cervical de infra-estruturas metálicas confeccionadas com liga à base de Ni-Cr, utilizando quatro revestimentos de fundição rápida (Flash, Bellavest SH, Heat Shock e Micro Fine 1700);

2) como os revestimentos se comportam na expansão de presa até 15 minutos após a espatulação;

3) como os revestimentos se comportam na expansão térmica dentro do forno no período de 20 minutos;

4) qual regime de expansão é mais adequado para compensação da contração da liga na técnica de fundição rápida.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Liga metálica

A liga utilizada na confecção das infra-estruturas metálicas possui as seguintes características:

- Nome comercial: VeraBond II (Aalba Dent Inc.)
- Composição parcial citada pelo fabricante:

Níquel (Ni)	74,5%
Cromo (Cr)	11,5%
Molibidênio (Mo)	3,5%
- Propriedades físicas citadas pelo fabricante:

Coeficiente de expansão, $\times 10^{-6}$ psi (500°C).....	14,1
Ponto de fusão °C	1260-1315

4.2 Revestimentos

Utilizamos três revestimentos fosfatados e um revestimento cerâmico. Todos os revestimentos são indicados para a técnica de fundição rápida.

4.2.1 Revestimento aglutinado por fosfato ultrafino, isento de cálcio, para fundição em alta temperatura e fundição rápida

- Nome comercial Flash (CNG)
- Expansão de presa não informado
- Expansão térmica 2,2 %
- Proporção 16 mL de líquido / 100 g de pó
- Identificação R1

4.2.2 Revestimento aglutinado por fosfato para alta temperatura de fusão e fundição rápida

- Nome comercial..... Bellavest SH (Bego GmbH & Co.)
- Expansão Total 1,4%
- Expansão térmica 2,2 %
- Proporção 22,5 mL de líquido / 90 g de pó
- Identificação R2

4.2.3 Revestimento aglutinado por fosfato para alta temperatura de fusão e fundição rápida

- Nome comercial Heat Shock (Polidental)
- Expansão de presa 1,0 %
- Expansão térmica 1,2 %
- Proporção 25 mL de líquido / 100 g de pó
- Identificação R3

4.2.4 Revestimento à base de cerâmica granulada para alta temperatura de fusão e fundição rápida

- Nome comercial Micro Fine 1700 (Talladium Inc. USA)
- Expansão de presa 1,4%
- Expansão térmica 1,8 %
- Proporção 22 mL de líquido / 90 g de pó
- Identificação R4

4.3 Troquel metálico

Foi confeccionado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) um troquel metálico em aço inoxidável (Figura 1), com as seguintes características:

- Ombro cervical de 3,0 mm, em ângulo reto com o eixo longitudinal do troquel metálico;
- paredes axiais com expulsividade de 5°;
- diâmetro na face oclusal de 6,3 mm;
- diâmetro próximo ao ombro gengival de 7,0 mm;
- altura de 5 mm;
- espaçador oclusal com 1,0 mm de altura;
- espaçador cervical de 5,0 mm de altura.

Figura 1 - A) Troquel metálico com o espaçador oclusal (EO) e o espaçador cervical (EC);
 B) Esquema com as medidas do troquel metálico com o espaçador oclusal e sem o espaçador cervical;
 C) Esquema com as medidas do troquel metálico com o espaçador oclusal e cervical.

4.4 Matriz para confecção do padrão de cera

Foi confeccionada uma matriz tubular metálica para confecção do padrão de cera. Esta matriz possibilitou introduzir o troquel metálico em seu interior (Figura 2A),

excedendo 1,0 mm da porção oclusal da matriz metálica (Figura 2B). Logo após a acomodação da mesma no interior da matriz tubular, um anel metálico com espessura de 2,0 mm foi introduzido com a altura igual a da matriz tubular (Figura 2C). A razão para a utilização dos espaçadores oclusal e cervical será dada oportunamente no decorrer deste capítulo.

Figura 2 - A) Padrão metálico com os espaçadores oclusal e cervical, a matriz tubular (MT) e o anel metálico (AM);
 B) Padrão metálico fixo na matriz metálica tubular excedendo 1,0 mm da porção oclusal;
 C) Anel metálico (AM) inserido no conjunto para permitir espaço adequado para a confecção dos padrões de cera: espessura de 1,0 mm na cervical e 1,0 mm na oclusal.

4.5 Padrões de cera

Para se obter os padrões de cera, foi pincelada vaselina sólida no troquel metálico e no interior da matriz tubular. Após a liquefação da cera Babinete de consistência regular a 40°C, num plastificador de godiva, ela foi vertida no interior da matriz até exceder ligeiramente a porção oclusal desta. Posteriormente, após a total solidificação da cera, a porção oclusal foi nivelada (Figura 3B), a matriz tubular foi removida e em seguida removida o anel metálico (Figura 3C), de modo que o padrão de cera permanecesse sobre o troquel (Figura 3C). A seguir, o padrão de cera era removido do troquel metálico.

O padrão de cera foi fixado no “sprue” (Orto Central – Ribeirão Preto-SP) com dois fios de cera na superfície oclusal, diametralmente opostas, e fixado em

uma base formadora de cadinho, com uma cera rosa nº 9 (Wilson-Ind. Com. Art. Dent. Ltda.) (Figura 3D).

Figura 3 - A) Todo o conjunto metálico e o padrão de cera (PC) solidificado pronto para ser removido; B) O conjunto com o anel metálico (AM) e sem a matriz tubular; C) O conjunto sem a matriz tubular e o anel metálico; D) Padrão de cera fixado ao sprue e à base formadora de cadinho.

O padrão de cera foi posicionado no anel de fundição de silicone de 60g (Polidental) a uma distância de 6 mm da borda superior do mesmo. Antes da inclusão, foi aplicada sobre o padrão de cera a solução redutora de tensão superficial, Anti-Bolhas Padron (Kota Ind. Comércio Ltda) e a secagem realizada com leve jato de ar.

4.6 Inclusão

Todos os revestimentos foram manipulados com uma diluição de 75% de líquido especial. A manipulação com as devidas proporções dos revestimentos e as proporções do líquido especial e água destilada está representada na Tabela 1. Inicialmente, o líquido e pó dos revestimentos foram aglutinados manualmente, por 10 segundos. A seguir, utilizou-se um espatulador mecânico a vácuo (Degussa), calibrado a 25 libras por 30 segundos.

Para cada tipo de revestimento (R1, R2, R3, R4) foi utilizada a técnica de fundição rápida. Foram realizadas 10 fundições para cada um dos revestimentos,

com um padrão de cera em cada anel, totalizando 40 fundições e 40 corpos de prova. Utilizou-se um forno automático EDG para o processo de fundição.

Quadro 1 – Esquema das condições do experimento.

Revestimento	Líquido especial	Pó/líquido	Líquido especial/água destilada
R1 (Flash)	75%	100 g/16 mL	12 mL/4 mL
R2 (Bellavest SH)	75%	100 g/25 mL	19 mL/6 mL
R3 (Heat Shock)	75%	100 g/25 mL	19 mL/6 mL
R4 (Micro Fine 1700)	75%	100 g/24 mL	18 mL/7 mL

A técnica de fundição rápida foi realizada como se segue: aguardou-se 15 minutos para a presa do revestimento, que foi levado ao forno pré-aquecido a uma temperatura de 750°C. Em seguida, elevou-se a temperatura para 950°C. Os blocos de revestimento foram mantidos por 20 minutos no forno até atingir a temperatura final, quando se procedeu a fundição.

4.7 Fundição

Foram utilizadas somente ligas Verabond II novas. As recomendações do fabricante da liga foram seguidos, utilizando-se chama de alta temperatura, com bico de orifícios múltiplos, mistura de gases oxigênio/propano e pressão de 35 psi. O bloco de revestimento aquecido foi posicionado na centrífuga armada com três voltas.

4.8 Desinclusão

Logo após o resfriamento dos blocos de revestimento procedeu-se a desinclusão. O jateamento para remoção de revestimento aderido à superfície das

peças foi realizado com óxido de alumínio, com granulação de 40 μm , através do aparelho Trijato (Odonto Larcon, Maringá-PR – Brasil), sob uma pressão de 50 libras.

Não foram realizados procedimentos de usinagem para adaptação, mas as bolhas positivas foram removidas com broca de carboneto de tungstênio nº 2 (Carbide – SSWhite Artigos Dentários Ltda).

4.9 Determinação do desajuste

As leituras para verificação do desajuste cervical foram feitas com um microscópio comparador digital (Mitutoyo – Mig., Co., Lft.) (Figura 4).

Figura 4 - Microscópio comparador.

Para facilitar para a realização das leituras, foi criado um dispositivo que possibilitasse acoplar uma webcam digital ao visor do microscópio. Dessa forma, a imagem do microscópio era enviada via webcam para o notebook. Para tanto, foram utilizadas três buchas de redução soldável longa da marca Tigre com as seguintes dimensões: 85x60 (B1), 60x32 (B2) e 50x25 (B3) (Figura 5A). O B2 foi conectado no B1 (Figura 5B e Figura 6) e o B3 foi conectado ao B2 internamente ao B1 (Figura 5C e Figura 7).

Figura 5 - A) Conjunto das três buchas de redução B1, B2 e B3;
B) B2 conectado ao B1;
C) B3 conectado ao B2, internamente ao B1.

Figura 6 - Esquema dos encaixes das buchas B1 e B2:
A) B2 sendo encaixado no B1;
B) B2 encaixado em B1.

Figura 7 - Esquema do encaixe da bucha B3:
A) B3 sendo encaixado em B2 pelo bocal maior de B1;
B) B3 encaixado em B2.

No interior de B1, 4 pares de abaixador de língua de madeira mais 4 protetores adesivo de feltro sintético circulares de 20mm (Talentos Utilidades para o Lar Ltda) foram colados para acomodar a webcam Logitech® QuickCam® Pro 5000 Camera com microfone (Figura 8).

Figura 8 - A) 4 pares de abaixador de língua de madeira mais 4 protetores adesivos de feltro sintético circular colados no interior de B1;
B) Webcam Logitech® QuickCam® Pro 5000 desmontada;
C) Webcam encaixada no interior de B1.

Todo o conjunto acoplado ao microscópio permite que a webcam envie a imagem diretamente ao notebook Toshiba S-141 (Figura 9). A visualização da imagem no notebook foi obtida com o software QuickCam 8.4.6 (Logitech).

Figura 9 – O conjunto de buchas com a webcam acoplada no visor do microscópio. A imagem do microscópio era enviada, via webcam, para o notebook Toshiba S-141.

As infra-estruturas metálicas foram marcadas na porção oclusal, identificando o revestimento. Logo após, ao acaso, uma peça fundida era escolhida, posicionada no troquel metálico e realizada a aferição.

As desadaptações de cada infra-estrutura metálica foram medidas três vezes em quatro pontos em uma região cervical previamente marcada no troquel metálico (1, 2, 3 e 4). Primeiramente, o retículo em forma de cruz do microscópio comparador digital foi posicionado na borda oclusal do padrão metálico. A seguir, a

mesa micrométrica foi movimentada até que o centro do retículo se alinhasse com a borda cervical da infra-estrutura. O espaço encontrado representa o desajuste cervical em mm. Cada infra-estrutura foi medida 12 vezes, sendo três repetições em cada face (1, 2, 3 e 4). Foram realizadas médias aritméticas e obtidas quatro medidas para cada infra-estrutura. No total, foram realizadas 480 leituras para 40 infra-estruturas, sendo que após a realização das médias aritméticas, foram obtidas 160 medidas.

Dois tipos de medidas foram obtidas: uma positiva e outra negativa. Quando era feita a mensuração de borda a borda, se a medida era maior que 5,0 mm (D) o valor era positivo ($D1 - D$), chamado infra-expansão (Figura 10B). Se a medida era menor que 5,0 mm (D) o valor era negativo ($D2 - D$), chamado de sobre-expansão (Figura 10C). Neste caso explica-se o porquê da necessidade dos espaçadores oclusal e cervical, pois sem os mesmos não seria possível saber o quanto a infra-estrutura havia excedido o tamanho padrão.

Figura 10 - A) Padrão metálico sem os espaçadores oclusal e cervical, e uma infra-estrutura ideal, fruto de uma fundição precisa, D = medida da borda oclusal do padrão metálico até a borda da infra-estrutura ideal;
B) A borda cervical do espécime ficou aquém do ideal ($D1$); em função da infra-expansão;
C) A borda cervical do espécime ficou além do ideal ($D2$), em função da sobre-expansão.

4.10 Medida da expansão de presa

Para este procedimento foi utilizado um relógio comparador Digimess (Digimess Instrumentos de Medição de Precisão) (Figura 11A). Outras quatro placas

menores foram utilizadas para servir de barreira para acomodar o revestimento: duas placas retangulares de 2,0 x 10 cm e duas placas em forma de T de 6,0 x 2,0 cm (Figura 11B). Todas estas placas apresentavam 1,0 cm de espessura. Tanto o relógio comparador como umas das placas T localizada em outra extremidade foram fixadas a uma placa acrílica maior de 20,0 x 17,0 cm (Figura 11A). As outras três placas eram móveis, justamente para permitir a mensuração da expansão do revestimento.

Figura 11 - A) Sobre uma placa acrílica maior (PAM) havia um relógio comparador fixo (RCF) e em outra extremidade uma placa acrílica T fixa (PTF). As outras três placas eram móveis (PM); B) Medidas de todo o conjunto anterior.

Com todo o conjunto montado tem-se um espaço central de 8,0 x 2,0 cm que permitiu vaziar o revestimento no local (Figura 11A). À medida que o revestimento expandia, a placa acrílica T, encostada na ponta do relógio comparador, movimentava-se e o relógio comparador detectava a quantidade de movimentação. As placas acrílicas laterais eram móveis para que não ocorresse erro na mensuração, pois, uma vez fixo as laterais, a expansão concentrar-se-ia somente ao longo eixo proporcionando uma sobre-expansão na mensuração.

Foram realizadas três observações de expansão de presa de 16 minutos. As medidas das expansões foram tomadas em intervalos de 1 minuto cada.

4.11 Obtenção do bastão de revestimento para a verificação da expansão térmica dentro do forno

Para verificar a expansão térmica do revestimento era necessário um corpo de prova em forma de bastão de aproximadamente 20,0 cm de comprimento. Para isso, foi utilizada uma matriz de latão, gentilmente cedida pela Polidental, que consiste num bloco metálico, oco no seu interior e aberto nas extremidades, dividida em duas partes (Figura 12A). Os dois blocos são unidos através de dois anéis metálicos nas extremidades (Figura 12C). Um dos anéis é fechado e a outra é aberta (Figura 12B). Dessa forma, torna-se possível o vazamento do revestimento para o interior do bloco metálico. No centro do mesmo há um orifício (Figura 12A) para a colocação de uma haste metálica que serviu para formar um orifício no bastão de revestimento. Este orifício acomodou dois fios condutores que, no caso de haver diferença de temperatura, gerarão eletricidade, chamados de Termopar. Este foi utilizado para medir a temperatura do interior do revestimento durante seu aquecimento no forno.

Figura 12 - A) Bloco de latão para obtenção do revestimento em forma de bastão, orifícios (O) no centro da calha;
 B) Os dois blocos de latão unidos, anel metálico fechado e anel metálico aberto para estabilizar os dois blocos;
 C) Os dois blocos de latão unidos pelos anéis metálicos, orifício (O) onde será inserida uma haste metálica;
 D) Medidas da metade do bloco de latão;
 E) Medidas do bloco de latão em seção transversal.

A parte interna do bloco metálico foi lubrificada com vaselina e uma camada de filme de PVC foi aplicada em seguida. Os blocos metálicos foram unidos e os anéis posicionados (Figura 12C). Logo em seguida, uma haste metálica foi introduzida no orifício no centro do bloco de latão. Isto permite a presença de um orifício no bloco de revestimento para a acomodação do fio Termopar (Figura 13B). O revestimento foi manipulado de acordo com a recomendação do fabricante e com uma diluição de 75% do líquido especial. O revestimento foi vazado por uma das embocaduras do anel com a ajuda de um vibrador (Polidental). Aguardou-se 20 minutos para liberar os anéis e abrir o bloco (Figura 13 A). Para cada revestimento foram confeccionados três bastões.

Logo em seguida, o fio do termopar (Figura 13C) foi inserido no orifício criado no centro do bastão de revestimento e ligado a um termômetro de resistência elétrica que indicava a temperatura do revestimento (Figura 13D). Este procedimento era importante para saber se realmente havia sido atingida a temperatura mínima de 700°C.

Figura 13 - A) Bloco metálico aberto após 20 minutos, bastão de revestimento com o orifício (O) no seu centro;
B) Fio do termopar inserido no orifício do bastão de revestimento;
C) Duas extremidades do termopar: uma se abre em dois fios que se conectava a um termômetro de resistência elétrica; a outra com os dois fios unidos para serem inseridos no orifício do bastão de revestimento;
D) Termômetro de resistência elétrica.

O bastão de revestimento e o fio termopar foram introduzidos em um tubo de quartzo (Figura 14A). Em seguida, um bastão de quartzo (Figura 14A) foi inserido sobre o bastão de revestimento no interior do tubo de quartzo e um dispositivo com um relógio comparador Mitutoyo foi fixado no tubo de quartzo de forma que o indicador do relógio comparador tocasse levemente o bastão de quartzo (Figura 14C). Assim, quando o bastão de revestimento foi inserido no forno e iniciou a sua expansão, o relógio começou a fazer a mensuração.

Figura 14 - A) Bastão de quartzo e tubo de quartzo;
B) Dispositivo para fixar o relógio comparador no tubo de quartzo;
C) Dispositivo fixo no tubo de quartzo de forma que o indicador do relógio o está tocando levemente.

Todo o conjunto montado foi inserido a um forno tubular adaptado da EDG EDGCON P-1 a uma temperatura de 700°C (Figura 15). A temperatura foi medida a cada 2 minutos até completar 15 minutos.

Figura 15 - A) Painel de controle do forno;
B) Forno tubular com uma abertura no seu topo;
C) Conjunto para realizar a mensuração da expansão térmica
posicionado no interior do forno tubular.

4.12 Análise Estatística

Os resultados provenientes das medidas do desajuste cervical, da expansão de presa e da expansão térmica foram submetidos à ANOVA (ANalysis Of VAriance), que permite comparar os grupos, considerando a dispersão (Variância) dos valores dentro de cada grupo e entre os grupos. Não ocorrendo diferença significativa entre os grupos, essas variâncias tendem a ficar próximas.

Para a verificação de possíveis diferenças entre médias foi utilizado o Teste de Tukey, determinando médias e medidas de dispersão (desvio padrão).

5 RESULTADOS

5 RESULTADOS

5.1 Análise estatística dos desajustes marginais entre os revestimentos

As médias das medidas dos desajustes de cada corpo de prova estão mostradas na Tabela 1. A média, a variância e o teste estatístico para a Tabela 1 estão representados na Tabela 2.

Tabela 1 – Médias das desadaptações (mm) das infra-estruturas metálicas, com diferentes revestimentos (R1 – R4) usando a técnica de fundição rápida.

Infra-estruturas	Revestimentos			
	R1	R2	R3	R4
1	0,462	0,294	0,099	-0,412
2	0,351	0,366	0,063	-1,004
3	0,152	0,294	0,073	-1,073
4	0,236	0,312	0,238	-0,676
5	0,449	0,317	0,108	-1,131
6	0,283	0,322	0,071	-1,124
7	0,198	0,424	-0,183	-0,975
8	0,214	0,251	0,170	-0,636
9	0,296	0,240	0,100	-0,965
10	0,274	0,348	0,153	-0,887

Tabela 2 – Análise de variância dos dados da Tabela 1.

Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância
R1	10	2,915	0,2915	0,010567167
R2	10	3,168	0,3168	0,002911511
R3	10	0,892	0,0892	0,012075511
R4	10	-8,883	-0,8883	0,056772011

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	P-value	F crit
Entre grupos	9,733	3	3,244	157,628	9,29458E-21	2,867
Dentro dos grupos	0,741	36	0,021			
Total	10,474	39				

O valor de F observado foi muito maior que o F crítico e o valor de P foi muito menor que 5%. Portanto, para o nível de significância de 5%, rejeitamos a hipótese nula de que não há diferença entre os grupos de revestimentos. Ou seja, entre os grupos de revestimentos ocorreu uma diferença significativa de adaptação marginal dos corpos de prova.

Para encontrarmos em quais grupos há diferença estatisticamente significativa, utilizamos o teste de Tukey, que está representado na Tabela 3.

Tabela 3 – Teste de Tukey para encontrar diferença significativa entre os grupos representados por diferentes revestimentos (R1 – R4)

Comparação	(x1 - x2)	EP (Tukey)	q calc	q crítico	Conclusão
R1 vs R2	0,025	0,046	0,552	3,845	Médias não diferem
R1 vs R3	0,202	0,046	4,415	3,845	Médias diferem
R1 vs R4	1,180	0,046	25,630	3,845	Médias diferem
R2 vs R3	0,228	0,046	4,967	3,845	Médias diferem
R2 vs R4	1,205	0,046	26,308	3,845	Médias diferem
R3 vs R4	0,978	0,046	21,324	3,845	Médias diferem

O resultado do teste de Tukey nos revela que apenas a comparação entre os grupos R2 vs R1 não apresenta diferença estatisticamente diferente. Nas demais, as diferenças são significantes.

Figura 16 - Média de desajuste marginal (mm) entre os diferentes revestimentos (R1 – R4)

5.2 Análise estatística da expansão de presa dos revestimentos

As médias das medidas de cada corpo de prova estão demonstradas a Tabela 4. A média, variância e o teste estatístico estão representados na Tabela 5.

Tabela 4 – Média das expansões de presa (mm) dos quatro tipos de revestimentos no tempo de 2 a 16 minutos.

Tempo	R1	R2	R3	R4
2	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,01	0,02
8	0,00	0,00	0,01	0,04
10	0,00	0,00	0,01	0,07
12	0,02	0,01	0,02	0,10
14	0,06	0,03	0,02	0,16
16	0,13	0,07	0,02	0,22

Tabela 5 – Análise de variância dos dados da Tabela 4.

Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância
R1	8	0,21	0,03	0,00
R2	8	0,11	0,01	0,00
R3	8	0,09	0,01	0,00
R4	8	0,61	0,08	0,01

Fonte de variação	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Entre grupos	0,02	3,00	0,01	3,14	0,04	2,95
Dentro dos grupos	0,07	28,00	0,00			
Total	0,09	31,00				

O valor de F observado foi maior que o F crítico e o valor de P foi menor que 5%. Portanto, para o nível de significância de 5%, rejeitamos a hipótese nula de que não há diferença entre os grupos de revestimentos. Ou seja, entre os grupos de revestimentos, houve uma diferença significativa na expansão de presa. Para encontrar os grupos com esta diferença significativa, realizamos o Teste de Tukey, que está representado na Tabela 6.

Tabela 6 – Teste de Tukey para encontrar diferenças entre grupos.

Comparação	(x1 - x2)	EP (Tukey)	q <i>calc</i>	q crítico	Conclusão
R1 vs R2	0,01	0,02	0,82	3,91	Médias não diferem
R1 vs R3	0,02	0,02	1,01	3,91	Médias não diferem
R1 vs R4	0,05	0,02	3,10	3,91	Médias não diferem
R2 vs R3	0,00	0,02	0,19	3,91	Médias não diferem
R2 vs R4	0,06	0,02	3,92	3,91	médias diferem
R3 vs R4	0,07	0,02	4,11	3,91	médias diferem

O Teste de Tukey revelou que ocorreu diferença significativa de expansão de presa do R4 com o R3 e R2.

Figura 17 – Média da expansão de presa (mm), nos primeiros 16 minutos, com os revestimentos na proporção de líquido especial de 75%.

5.3 Análise estatística da expansão térmica dos revestimentos

As médias das medidas de cada corpo de prova estão demonstradas a Tabela 7. A média, variância e o teste estatístico estão representados na Tabela 8.

Tabela 7 – Médias das expansões térmicas dos revestimentos em mm no tempo de 2 a 20 minutos.

Tempo	R1	R2	R3	R4
2	0,37	0,12	0,33	0,71
4	0,69	0,46	0,77	1,24
6	1,05	0,93	0,99	1,50
8	1,52	1,38	1,32	1,80
10	1,78	1,62	1,61	1,99
12	1,82	1,70	1,74	2,04
14	1,82	1,78	1,79	2,05
16	1,81	1,84	1,78	2,05
18	1,81	1,86	1,78	2,05
20	1,80	1,86	1,78	2,05

Tabela 8 – Análise de variância dos dados da Tabela 7.

<i>Grupos</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
R1	10	14,47	1,45	0,30		
R2	10	13,55	1,35	0,40		
R3	10	13,87	1,39	0,27		
R4	10	17,47	1,75	0,21		
<i>Fonte de variação</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Entre grupos	0,97	3,00	0,32	1,09	0,37	2,87
Dentro dos grupos	10,65	36,00	0,30			
Total	11,61	39,00				

O valor de F observado foi menor que o F crítico e o valor de P foi maior que 5%. Portanto, para o nível de significância de 5%, aceitamos a hipótese nula de que não há diferença entre os grupos de revestimentos. Ou seja, entre os grupos de revestimentos, apesar de R4 ter apresentado uma maior expansão térmica, não foi suficiente para afirmar que a diferença é estatisticamente significativa em relação aos outros revestimentos.

Figura 18 - Média da expansão térmica (mm), durante 20 minutos, com os revestimentos na proporção de líquido especial de 75%.

5.4 Análise estatística da soma da expansão de presa e térmica dos revestimentos

As médias das medidas de cada corpo de prova estão demonstradas a Tabela 9. A média, variância e o teste estatístico estão representados na Tabela 10.

Tabela 9 – Expansão total dos revestimentos em mm.

	R1	R2	R3	R4
Presa	0,133	0,073	0,024	0,217
Térmica	1,800	1,862	1,775	2,047
Total	1,933	1,935	1,799	2,264

Tabela 10 – Análise de variância da Tabela 9.

<i>Grupos</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
R1	2	1,93	0,97	1,39		
R2	2	1,94	0,97	1,60		
R3	2	1,80	0,90	1,53		
R4	2	2,26	1,13	1,67		
<i>Fonte de variação</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Entre grupos	0,06	3,00	0,02	0,01	1,00	6,59
Dentro dos grupos	6,20	4,00	1,55			
Total	6,26	7,00				

O valor de F observado foi menor que o F crítico o valor de P foi maior que 5%. Portanto, para o nível de significância de 5%, aceitamos a hipótese nula de que não há diferença entre os grupos de revestimentos. Ou seja, entre os grupos de revestimentos, apesar de R4 ter apresentado a maior expansão total, não foi suficiente para afirmar que a diferença é estatisticamente significativa em relação aos outros revestimentos.

Figura 19 - Média da expansão total (mm), revestimentos (R1 – R4) na proporção de líquido especial de 75%.

6 DISCUSSÃO

6 DISCUSSÃO

Há anos os pesquisadores vêm estudando alguma forma para melhorar a adaptação de peças metálicas em dentes preparados e atualmente em implantes osseointegrados. Uma delas é o controle das interferências que ocorrem devido às expansões de presa e térmica dos revestimentos.

Nos primórdios da Odontologia moderna, utilizavam-se a compensação higroscópica e a térmica para compensar a contração da liga áurea (Scheu, 1933). A compensação higroscópica era o método padrão tanto para o uso em liga áurea (Scheu, 1933; Suffert; Mahler, 1955) como em liga à base de Ni-Cr (Weiss, 1977), a qual apresentava a expansão de presa maior que a expansão térmica. Entretanto, observava-se que a expansão de presa interferia no resultado final pela distorção do padrão de cera (Scheu, 1933; Suffert; Mahler, 1955; Stevens; Okamoto; Jorgensen, 1985; Takahashi et al., 1999). Dessa forma, procurou-se aprimorar o revestimento de compensação térmica, que apresenta uma expansão de presa mínima, mas uma expansão térmica suficiente para compensar a contração da liga metálica.

Nos últimos anos houve uma melhora destes revestimentos e o surgimento de uma nova técnica de fundição, chamada técnica de fundição rápida, na qual se aguarda 15 minutos para a expansão de presa e 20 a 30 minutos para proceder à expansão térmica dentro do forno (Campagni; Majchrowicz, 1991). Vale ressaltar que este procedimento já havia sido descrito há quase quarenta anos por Jones e Wilson (1968), que não recomendaram levar o bloco de revestimento a um forno pré-aquecido a mais de 500°C.

Atualmente, isso é feito a 850°C com o revestimento de fundição rápida. Neste procedimento o revestimento é levado a uma condição térmica muito rigorosa, que poderia trazer três principais inconvenientes: 1) maior rugosidade superficial (Suffert; Mahler, 1955), mas, os estudos de Murakami et al. (1994) e Blackman (2000), demonstraram que a rugosidade produzida não trouxe problemas clínicos; 2) o segundo inconveniente citado refere-se à baixa resistência para suportar o calor (Scheu, 1933; Jorgensen; Watanabe, 1986), porém, na literatura não há relatos sobre trincas ou fraturas com o uso da técnica de fundição rápida que pudessem interferir na adaptação final (Campagni; Majchrowicz, 1991; Murakami et al., 1994; Konstantoulakis et al., 1998; Yamaguti, 2002) e neste trabalho não ocorreram trincas ou fraturas nos blocos de revestimento; 3) o último se refere a uma expansão

térmica variável e instável (Jones; Wilson, 1968; Stevens, 1983; Papadopoulos; Axelsson, 1990) que discutiremos posteriormente quando falarmos a respeito da expansão térmica. E comparando a nova técnica de fundição com a técnica de fundição convencional, os relatos mostraram a viabilidade do procedimento (Konstantoulakis et al., 1998; Schilling et al., 1999; Zequetto, 2005; Yan; Takahashi, 2006) apesar de alguns artigos ainda exprimirem cautela (Jones; Wilson, 1968; Campagni; Majchrowicz, 1991; Murakami et al., 1994; Blackman, 2000; Yamaguti, 2002).

Neste trabalho, no aspecto adaptação marginal, observou-se que o R3 apresentou a melhor adaptação seguido do R1, R2 e R4. Nos revestimentos R1, R2 e R3 ocorreu uma infra-expansão, ou seja, os espécimes metálicos não se apresentaram expandidos o suficiente para que a borda cervical dos mesmos se aproximassem do marco 0 do troquel metálico. No revestimento R4 ocorreu o contrário, uma sobre-expansão, ou seja, os espécimes metálicos expandiram além do necessário. Neste último caso, se houvesse um limitador de assentamento no marco 0 do troquel metálico, teríamos um espaço na parede interna. A presença deste espaço, se adequado, seria interessante para acomodação do cimento, mas significaria também a presença de um desajuste horizontal tão danoso biologicamente quanto o desajuste vertical. No caso de um implante combinado ao uso de um UCLA calcinável e hexágono externo, a presença do espaçamento seria interessante para uma melhor acomodação da peça fundida. Por outro lado, traria inconveniente também, principalmente em elemento unitário, em que a peça teria micro-movimentações que poderiam levar à fadiga do parafuso do implante ou a sua soltura.

Em uma análise crítica dos resultados anteriores, acreditamos que todos os revestimentos têm o potencial de apresentar uma boa adaptação cervical. Isto seria possível pelo fato de utilizarmos uma diluição de 75% do líquido especial. Este líquido sem a diluição, num teste piloto, apresentou uma sobre-expansão tão grande que não possibilitou realizar a leitura do desajuste cervical. Dessa forma, para diminuir a sobre-expansão, utilizamos 25% de água destilada e 75% de líquido especial. Assim, foi possível realizar a leitura nos espécimes obtidos dos quatro revestimentos. O uso da diluição é um artifício utilizado para controlar a maior ou menor expansão térmica do revestimento (Earnshaw; Morey; Edelman, 1997). Assim, nos nossos espécimes para melhorar a adaptação cervical, seria

interessante: aumentar a quantidade de líquido especial nos revestimentos R1, R2 e R3, sendo que, nos revestimentos R1 e R2 a quantidade deveria ser maior que no R3; e no R4, uma menor quantidade de líquido especial (Figura 16).

Somente o uso da diluição do líquido especial não deve ser considerado o suficiente para confeccionar uma peça metálica com adaptação adequada. Acreditamos que outros fatores podem ter importância e podem acrescentar informações para desenvolver melhores revestimentos.

A forma como ocorre a expansão de presa e térmica é provavelmente um dos fatores chaves para controlar a distorção do padrão de cera ou de resina acrílica. Contudo, a literatura ainda é escassa em relação às expansões de presa e térmica dos revestimentos de fundição rápida. Previamente a este trabalho, tínhamos a hipótese de que a expansão de presa seria mínima devido ao tempo de espera de 15 minutos, e este mais o tempo de espera para a expansão térmica de 20 minutos não seria suficiente para compensar a contração da liga à base de Ni-Cr. O que reforçou esta hipótese foram os trabalhos de Murakami et al. (1994) e Yamaguti (2002) demonstrando que a técnica de fundição convencional em todas as situações apresentou as melhores adaptações em relação à técnica rápida. Entretanto, não confirmadas no trabalho de Marchiori (2004) e Zequetto (2005).

Possivelmente, a menor quantidade de líquido a ser misturada no pó dos revestimentos de fundição rápida em relação aos revestimentos convencionais, permite o tempo de espera de presa de 15 minutos, pois a quantidade de líquido para evaporar é menor, a presa torna-se mais rápida e a expansão estabiliza-se mais rapidamente (Mori; Aghajani, 2003). Este fato não ocorreu no revestimento R2, que apresentou o início da expansão de presa mais retardada e contínua até 60 minutos (APÊNDICE A). Na literatura consultada, este tipo de expansão de presa leva a uma distorção da cera com prejuízo na adaptação final (Murakami et al., 1994; Takahashi et al., 1999). Devido a isso se tem o interesse por uma expansão de presa menor, visando eliminar a variável distorção do padrão de cera.

Apesar dos revestimentos R1, R3 e R4 apresentarem a estabilização de expansão de presa dentro de 60 minutos (APÊNDICE A), no tempo de 16 minutos, que é o tempo que o bloco de revestimento é levado ao forno pré-aquecido, os blocos de revestimentos estão no seu pico de expansão (Figura 17). É de supor que parte da expansão de presa tenha sido perdida e seria necessária uma expansão térmica maior para compensar esta perda. No momento, ainda não se sabe se esta

expansão de presa é perdida ou se ela ocorre dentro do forno juntamente com a expansão térmica. A expansão de presa ocorrendo juntamente com a expansão térmica seria interessante, pois o revestimento estando em seu pico de expansão de presa pode desencadear uma expansão térmica muito mais efetiva, pois o bloco já estaria expandindo. Esta idéia já havia sido cogitada por Stevens (1983) e necessita de um estudo mais aprofundado. Para Yan e Takahashi (2006), na técnica de fundição rápida, a expansão de presa não exerce influência na expansão térmica, mas observa-se neste estudo que os revestimentos utilizados já haviam atingido a completa expansão de presa antes de serem levados ao forno.

Levar um bloco de revestimento a um forno pré-aquecido a 750°C, não parece levar a uma adequada expansão térmica. Papadopoulos e Axelsson (1990) em seus estudos já indicavam que a expansão térmica não poderia ser muito rápida, pois a conversão α - β da cristobalita e quartzo que faz o revestimento expandir termicamente não seria efetiva. Então, seria interessante a remoção daquele que expande mais lentamente, neste caso a cristobalita (Takahashi et al., 1990). Entretanto, foi demonstrado que a total eliminação da cristobalita não favorece uma expansão térmica adequada (Mori; Aghajani, 2003). Então, adequou-se uma formulação com maior quantidade de quartzo em detrimento da cristobalita (Murakami et al., 1994; Konstantoulakis et al., 1998; Mori; Aghajani, 2003).

Na avaliação da expansão térmica deste trabalho, todos os revestimentos apresentaram a estabilização de expansão em 15 minutos e também apresentaram a tendência de diminuir a quantidade de expansão quanto mais tempo permanecia dentro do forno. Não foi possível observar se os revestimentos apresentavam cristobalita e quartzo em sua formulação, uma vez que eles foram submetidos a uma temperatura inicial de 750°C. Em uma avaliação de expansão térmica elevando-se a temperatura lentamente, é possível observar dois picos de expansões: a primeira da conversão α - β da cristobalita que ocorre a aproximadamente 250° C e a outra da conversão α - β do quartzo, a aproximadamente 550°C.

O grande problema da conversão α - β da cristobalita e do quartzo é a sua instabilidade à variações de temperatura, pois é uma conversão reversível. Em vista deste inconveniente, atualmente pesquisa-se outra forma de expansão térmica utilizando pós metálicos, que se oxidam devido ao calor (Earnshaw; Morey; Edelman, 1997). Neste caso, a expansão é basicamente química com a formação de

óxido, proporcionando uma expansão irreversível (Takahashi et al., 1990). Alguns revestimentos fosfatados como Power Mix já apresentam em sua composição estes componentes. Acredita-se que o acréscimo destes pós em um revestimento fosfatado não seria interessante atualmente, pois, como se observou neste trabalho, os revestimentos já apresentam uma expansão adequada. Assim, o acréscimo destes pós metálicos somente encareceriam o revestimento. Por outro lado, seria interessante um novo tipo de revestimento que apresentasse somente expansão química, pois teríamos um revestimento com expansão térmica mais estável em relação ao sistema de conversão α - β da cristobalita e do quartzo. Devido às características próprias para se fundir o titânio para as próteses sobre implantes há o desenvolvimento deste tipo de revestimento e já se encontram alguns no mercado, porém com um custo alto (Takahashi; Kitahara; Kubo, 2004; Yan; Takahashi, 2006).

Observando a figura da expansão total, os revestimentos fosfatados R1, R2 e R3 apresentaram valores semelhantes sem diferença significativa, sendo que, numericamente, o R3 apresentou o menor valor dentre os revestimentos. Como o R3 apresentou uma adaptação significativamente melhor que os revestimentos R1 e R2, pode-se supor que o que provavelmente contribuiu para isso foi a menor expansão de presa de R3. Este resultado corrobora os de Takahashi et al. (1990), Earnshaw et al. (1997), Takahashi et al. (1999) e Yan e Takahashi (2006) nos quais a expansão de presa mínima tem se mostrado mais importante do que a maior expansão total dos revestimentos. O revestimento R4 mostrou um comportamento diferente dos demais, pois apresentou o maior valor de expansão de presa, sendo este não significativo somente em relação ao R1 e não apresentou diferença estatisticamente significativa na expansão total e na expansão térmica em relação aos outros. Com este quadro, era esperado que pelo menos a adaptação obtida se assemelhasse à obtida pelo revestimento R1, mas a adaptação marginal foi significativamente muito discrepante em relação a dos outros revestimentos. Ou seja, os espécimes obtidos apresentaram-se muito expandidos. Algumas hipóteses foram levantadas para tentar explicar o ocorrido: diferente dos outros revestimentos que são fosfatados, o R4 é um revestimento cerâmico e parece se comportar como os revestimentos à base de gesso para a fundição rápida. Nos revestimentos fosfatados o ideal é uma expansão de presa mínima, mas no R4 ocorreu uma maior expansão de presa e uma rápida expansão em um curto espaço de tempo (Figura 17). É justamente neste tipo de comportamento que os revestimentos à base de

gesso apresentam as melhores adaptações (Murakami et al., 1994). Neste trabalho, há indícios de que o comportamento da expansão de presa é fundamental, mas com diferenças entre os revestimentos fosfatados e o cerâmico. Entretanto isso não explica de forma satisfatória a grande sobre-expansão dos espécimes obtidos com o revestimento R4.

Desde o trabalho de Jorgensen e Watanabe (1986), algumas pesquisas se voltaram para a análise da resistência à compressão dos revestimentos odontológicos. Acreditava-se que a baixa resistência favorecia uma contração uniforme da liga fundida oferecendo uma peça metálica mais precisa e com melhor adaptação marginal. Atualmente esta hipótese tem ganhado força. Pesquisas recentes (Takahashi et al., 1990; Earnshaw; Morey; Edelman, 1997; Takahashi; Kitahara; Kubo, 2004; Yan; Takahashi, 2006) têm demonstrado que a avaliação da resistência do revestimento é um quesito fundamental para a avaliação do revestimento no que se refere à obtenção de uma adaptação marginal adequada. Em um projeto piloto, observamos que o revestimento fosfatado é mais resistente que o cerâmico. Acredita-se que a resistência do revestimento tem uma influência tão importante quanto o comportamento das expansões de presa e térmica. Entretanto, esta variável não foi incluída neste trabalho e necessita de maiores estudos.

Com este trabalho observamos que não devemos olhar somente na quantidade da expansão, mas como ocorre a expansão de presa e térmica. Por outro lado, ao mesmo tempo que a expansão é importante, o fator resistência dos revestimentos também deve ser levado em consideração para obter uma adequada adaptação marginal. Algumas questões podem ter sido esclarecidas, mas muitas dúvidas também surgiram o que nos instiga a ainda manter as investigações a respeito da técnica de fundição rápida.

7 CONCLUSÃO

7 CONCLUSÃO

Após análise dos resultados obtidos, seguindo a metodologia de trabalho proposta, chegamos às seguintes conclusões:

1) O R3 (Heat Shock) apresentou a melhor adaptação cervical, seguido do R1 (Flash), R2 (Bellavest SH) e R4 (Micro Fine 1700). Mesmo assim, todos os revestimentos apresentam a capacidade de oferecer peças fundidas com liga à base de Ni-Cr com adequada adaptação cervical;

2) No tempo de 15 minutos, nenhum dos revestimentos apresentou a expansão de presa completa;

3) No período de 20 minutos dentro do forno, todos os revestimentos apresentaram a expansão térmica completada em 15 minutos;

4) A mínima expansão de presa e a compensação da contração da liga através da expansão térmica é o ideal, principalmente nos revestimentos fosfatados; sendo que, a obtenção da máxima expansão total não deve ser o único fator a ser considerado para obter uma adaptação cervical adequada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Blackman RB. Evaluation of the dimensional changes and surface roughness of gold crowns cast with rapidly prepared phosphate-bonded investment: a pilot study. *J Prosthet Dent.* 2000 Feb;83(2):187-93.
2. Campagni WV, Majchrowicz M. An accelerated technique for casting post and core restorations. *J Prosthet Dent.* 1991 Aug;66(2):155-6.
3. Earnshaw R, Morey EF, Edelman DC. The effect of potential investment expansion and hot strength on the fit of full crown castings made with phosphate-bonded investment. *J Oral Rehabil.* 1997 Jul;24(7):532-9.
4. Jones DW, Wilson HJ. Variables affecting the thermal expansion of refractory investments. *Br Dent J.* 1968 Sep 17;125(6):249-55.
5. Jorgensen KD, Watanabe A. A new phosphate bonded investment. *Scand J Dent Res.* 1986 Apr;94(2):182-4.
6. Konstantoulakis E, Nakajima H, Woody RD, Miller AW. Marginal fit and surface roughness of crowns made with an accelerated casting technique. *J Prosthet Dent.* 1998 Sep;80(3):337-45.
7. Marchiori A. Avaliação da desadaptação marginal de estruturas metálicas obtidas com variações quanto aos tipos cera e às técnicas de inclusão e fundição. Araçatuba (SP): Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"; 2004.
8. Mori T, Aghajani F. Gypsum-bonded investment and dental precision casting (II) investment for the quick casting technique. *Dent Mater J.* 2003 Dec;22(4):521-31.
9. Murakami S, Kozono Y, Asao T, Yokoyama Y, Sera M, Lu YS, et al. Effects of rapid burnout type gypsum-bonded investment on performance of castings. Part 1. Surface aspects and fit of crowns. *Dent Mater J.* 1994 Dec;13(2):240-50.
10. Papadopoulos T, Axelsson M. Influence of heating rate in thermal expansion of dental phosphate-bonded investment material. *Scand J Dent Res.* 1990 Feb;98(1):60-5.
11. Scheu C. Precision casting utilizing the hygroscopic action of plaster in investment in making expanded molds. *Journal American Dental Association.* 1933;20(7):1205-15.
12. Schilling ER, Miller BH, Woody RD, Miller AW, 3rd, Nunn ME. Marginal gap of crowns made with a phosphate-bonded investment and accelerated casting method. *J Prosthet Dent.* 1999 Feb;81(2):129-34.

13. Stevens L. The effect of early heating on the expansion of a phosphate bonded investment. *Aust Dent J*. 1983 Dec;28(6):366-9.
14. Stevens L, Okamoto A, Jorgensen KD. Dimensional change in mould space on setting of phosphate bonded investment. *Aust Dent J*. 1985 Aug;30(4):281-4.
15. Suffert LW, Mahler DB. Reproducibility of gold castings made by present day dental casting technics. *J Am Dent Assoc*. 1955 Jan;50(1):1-6.
16. Takahashi J, Kimura H, Lautenschlager EP, Chern Lin JH, Moser JB, Greener EH. Casting pure titanium into commercial phosphate-bonded SiO₂ investment molds. *J Dent Res*. 1990 Dec;69(12):1800-5.
17. Takahashi J, Okazaki M, Taira M, Kubo F. Nonuniform vertical and horizontal setting expansion of a phosphate-bonded investment. *J Prosthet Dent*. 1999 Apr;81(4):386-91.
18. Takahashi J, Kitahara K, Kubo F. Phosphate-bonded ZrSiO₄ investments added with ZrC and ZrN for casting titanium. *Dent Mater J*. 2004 Sep;23(3):314-20.
19. Weiss PA. New design parameters: utilizing the properties of nickel-chromium superalloys. *Dent Clin North Am*. 1977 Oct;21(4):769-85.
20. Yamaguti P. Comparação da adaptação cervical de estruturas metálicas para metalocerâmica obtidas através de técnica de fundição rápida e convencional, utilizando três revestimentos comerciais. Araçatuba (SP): Universidade de São Paulo; 2002.
21. Yan M, Takahashi H. Titanium casting using commercial phosphate-bonded investments with quick heating method. *Dent Mater J*. 2006 Jun;25(2):391-8.
22. Zequetto M. Comparação da desadaptação marginal de infra-estrutura metálicas obtidas com variações na técnica de fundição, revestimentos e material para obtenção dos padrões. Araçatuba (SP): Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"; 2005.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Média da expansão de presa (mm) dentro de 60 minutos, com os revestimentos na proporção de líquido especial de 75%

APÊNDICE B – Médias das expansões de presa (mm) dos quatro tipos de revestimentos (R1 – R4) no tempo de 2 a 60 minutos

Tempo	R1	R2	R3	R4
2	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,01	0,02
8	0,00	0,00	0,01	0,04
10	0,00	0,00	0,01	0,07
12	0,02	0,01	0,02	0,10
14	0,06	0,03	0,02	0,16
16	0,13	0,07	0,02	0,22
18	0,24	0,14	0,04	0,26
20	0,40	0,21	0,05	0,28
22	0,57	0,29	0,08	0,30
24	0,63	0,36	0,11	0,31
26	0,68	0,47	0,13	0,32
28	0,72	0,54	0,14	0,32
30	0,73	0,60	0,14	0,32
32	0,74	0,64	0,15	0,33
34	0,75	0,68	0,16	0,33
36	0,75	0,74	0,17	0,33
38	0,76	0,79	0,18	0,34
40	0,76	0,82	0,18	0,34
42	0,77	0,87	0,18	0,34
44	0,77	0,91	0,19	0,34
46	0,77	0,93	0,19	0,34
48	0,77	0,97	0,19	0,34
50	0,77	0,99	0,19	0,35
52	0,78	1,03	0,20	0,35
54	0,78	1,05	0,20	0,35
56	0,78	1,07	0,20	0,35
58	0,78	1,11	0,21	0,35
60	0,78	1,12	0,21	0,35