

Ana Carolina Pero

*Validação de um método de análise da
porosidade em resinas acrílicas para
base de prótese*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Reabilitação Oral - Área de Prótese, da Faculdade de Odontologia de Araraquara da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", para obtenção do título de Doutor em Prótese.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Compagnoni

Araraquara

2008

Pero, Ana Carolina.

Validação de um método de análise da porosidade em resinas acrílicas para base de prótese / Ana Carolina Pero. – Araraquara: [s.n.], 2008.

186 f. ; 30 cm.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Odontologia

Orientador : Prof. Dr. Marco Antonio Compagnoni

1. Porosidade 2. Resinas acrílicas 3. Prótese total
4. Propriedades físicas. I. Título.

ANA CAROLINA PERO

**VALIDAÇÃO DE UM MÉTODO DE ANÁLISE DA POROSIDADE EM
RESINAS ACRÍLICAS PARA BASE DE PRÓTESE**

COMISSÃO JULGADORA

TESE PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR

Presidente e Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Compagnoni
Professor Titular do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese,
Faculdade de Odontologia de Araraquara, UNESP

2º Examinador: Profa. Dra. Débora Barros Barbosa
Professor Assistente Doutor do Departamento de Materiais Odontológicos
e Prótese, Faculdade de Odontologia de Araçatuba, UNESP

3º Examinador: Prof. Dr. Raphael Freitas de Souza
Professor Assistente Doutor do Departamento de Materiais Odontológicos
e Prótese, Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, USP

4º Examinador: Prof. Dr. Adhemar Colla Ruvolo-Filho
Professor Associado do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia do
Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos, UFSCar

5º Examinador: Prof. Dr. João Neudenir Arioli Filho
Professor Adjunto do Departamento de Materiais Odontológicos e
Prótese, Faculdade de Odontologia de Araraquara, UNESP

Araraquara, 05 de junho de 2008.

DADOS CURRICULARES

ANA CAROLINA PERO

NASCIMENTO 15/02/1979 – São Paulo/SP

FILIAÇÃO Romulo Eduardo Pero
Ana Lúcia Avelar Pero

1998 - 2001 Graduação em Odontologia pela Faculdade de Odontologia de Araraquara, UNESP

2003 - 2005 Pós-Graduação em Reabilitação Oral (Prótese), nível de Mestrado, Faculdade de Odontologia de Araraquara, UNESP

2005 - 2008 Pós-Graduação em Reabilitação Oral (Prótese), nível de Doutorado, Faculdade de Odontologia de Araraquara, UNESP

2007 - Professor Substituto da Disciplina de Prótese Total do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese, da Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP

Dedicatória

A *Deus*, presença constante em minha vida, pela fé que nos une, sou grata em especial por me dar sabedoria e equilíbrio em minha caminhada.

Aos meus queridos pais, *Ana Lúcia e Romulo Eduardo*, em agradecimento por todo apoio e confiança depositada em mim. O amor de vocês sempre foi meu maior incentivo.

Mãe, obrigada por não medir esforços e estar sempre pronta a me ajudar, e pelas palavras sempre tão carinhosas.

Pai, dedico este trabalho em especial a você, por toda a história que nos conduziu a esta faculdade.

Ao meu namorado, *Evandro*, pelo intenso amor que nos une, pelo companheirismo, incentivo e por compartilhar todos os meus momentos. E principalmente por saber transformar cada instante em um momento especial e inesquecível.

Agradecimento Especial

Ao Professor

Marco Antonio Compagnoni,

Agradeço não só pela orientação competente, mas por representar em minha vida um exemplo de sabedoria e generosidade.

Obrigada pela convivência alegre, harmoniosa, e acima de tudo humana.

Serei eternamente grata pelo seu jeito carinhoso de nos ensinar, pelas palavras de apoio essenciais em tantos momentos e por não medir esforços em nos ajudar.

Foi e sempre será um grande presente tê-lo como orientador, pela amizade, confiança, respeito e principalmente por ter conduzido a minha vida profissional.

Minha eterna gratidão.

Agradecimento Especial

Aos Professores que compõem a comissão julgadora

Prof. Dr. Adhemar Colla Ruvolo-Filho,

Agradeço imensamente pela atenção especial dedicada a este trabalho e pela amizade fruto de nossa feliz convivência.

Prof. Dr. Raphael Freitas de Souza

Por nos transmitir sua sabedoria de maneira tão carinhosa, pelo exemplo de generosidade e bondade, e pela eterna amizade que nos une.

Profa. Dra. Débora Barros Barbosa

Agradeço especialmente pela nossa grande amizade, pelos ensinamentos e motivação em minha vida profissional.

Prof. Dr. João Neudenir Arioli Filho

Pelo jeito amigável de nos ensinar, pelo incentivo e contribuição em minha formação.

Minha sincera admiração e alegria em poder compartilhar com pessoas tão especiais esse momento importante em minha caminhada.

Agradecimentos

À Diretoria da Faculdade de Odontologia de Araraquara, representada pelo *Prof. Dr. José Cláudio Martins Segalla*, e pela vice-diretora, *Profa. Dra. Andreia Affonso Barreto Montandon*, pelo esforço dedicado ao ensino e à pesquisa nesta instituição.

À *Profa. Dra. Regina Helena Barbosa Tavares da Silva*, Chefe do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese, pela colaboração e dedicação voltadas ao nosso departamento.

Ao *Prof. Dr. Carlos Eduardo Vergani*, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Reabilitação Oral, Área de Prótese, pela contribuição em minha formação profissional.

Aos docentes da Disciplina de Prótese Total, *Kiko, João, Serginho e Marco*, pela convivência harmoniosa e pelo carinho demonstrado ao me receberem na disciplina.

Ao *Prof. Dr. Sérgio Russi*, por quem tenho profunda admiração e respeito, agradeço por todos os ensinamentos e pelas palavras de carinho e incentivo.

Aos docentes do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese: *Carlos Cruz, Renata, Gelson, Geraldo, Cinara, Carlos Vergani, Ana Lúcia, Eunice, Ana Cláudia, Caco, Ivan, Regina e Ligia*; pelo carinho, amizade e orientação.

Aos funcionários do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese, *Marta, Lúcia, Silvia, Inês, Malú, Miriam, Junior, José Carlos, Ângela, Manuel, Adelaide, Adelaidinha e Dulce* por todos os serviços prestados e, acima de tudo, pela amizade conquistada.

Às funcionárias da Seção de Pós Graduação, *Mara, Rosângela, Alexandre e Flávia*, pela atenção e disponibilidade.

Aos funcionários da Seção de Recursos Humanos, *Junior, Ana Lúcia, Elisa, Célia, Creusa e Marisa*, pela dedicação e disponibilidade.

Aos funcionários da Biblioteca desta Faculdade, em especial a *Maria Helena, Ceres, Adriano, Silvia, Eliane e Odete*, pela colaboração em todos os serviços prestados.

A todos os funcionários desta faculdade, pelos serviços prestados, pela simpatia e colaboração.

Aos amigos de turma *Ana Paula, Andréa, Anelise, Dani, Ewerton, João, Mari, Marcelo, Matheus, Michel, Roberta, Zeca e Zé Maurício*, pela amizade e companheirismo.

Às estagiárias *Larissa, Keren e Ana Lígia*, agradeço toda a dedicação dentro do nosso grupo de pesquisa.

À amiga *Juliê*, pela convivência diária, pela alegria, dedicação dentro do nosso grupo e, principalmente, pela amizade sincera. Obrigada por estar sempre pronta a colaborar e pela maneira sempre tão carinhosa de conduzir nossa amizade.

Ao amigo *André*, pela convivência diária, por ser sempre tão prestativo, e por somar inteligência e colaboração ao nosso grupo.

Aos alunos de Graduação da Disciplina de *Prótese Total, em especial da turma 80*, que me receberam com carinho e respeito, e foram abertos aos meus ensinamentos neste início de vida acadêmica.

À minha amiga *Ana Cristina*, pela amizade sincera, companheirismo e compreensão em todos os momentos.

Às minhas queridas amigas *tia Mércia e Mônica*, pela grande amizade e pelo carinho que nos une.

Às minhas irmãs *Luciana, Ana Paula e ao meu cunhado Fabiano*, pelo apoio e carinho à distância, e por torcerem por mim. Amo vocês.

Agradeço em especial à *Ana Paula e Fabiano*, por fazerem a *Rafaela*, minha linda sobrinha, alegria que surgiu como um presente em nossa família (não vejo a hora de te conhecer!)

Aos meus tios, *Wilson e Teresa, Lourdes e Chen, Júlio César*, obrigada pelo incentivo, pela torcida e por compartilharem a minha alegria.

Aos meus primos *Rodrigo, Renan, Mariana, Gabriel, Letícia e Luisinho*, pelo amor que nos une e por todos os momentos felizes.

A toda *família do Evandro*, representada pelos meus sogros *Vizoto e Rosana*, pela torcida e incentivo.

À *FAPESP* (Auxílio à Pesquisa, proc. nº 05/02964-0) e *CNPq* (Bolsa de Doutorado, proc. nº 142822/2005-1), pelo

suporte financeiro que tornou possível a realização dessa pesquisa.

SUMÁRIO

Resumo.....	13
Abstract.....	15
INTRODUÇÃO.....	17
REVISÃO DA LITERATURA.....	25
PROPOSIÇÃO.....	71
MATERIAL E MÉTODO.....	73
RESULTADO.....	107
DISCUSSÃO.....	133
CONCLUSÃO.....	145
REFERÊNCIAS.....	147
ANEXOS.....	155

Resumo

Pero AC. Validação de um método de análise da porosidade em resinas acrílicas para base de prótese [tese doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2008.

O estudo da porosidade em resina acrílica para base de prótese tem sido realizado por meio de diversos métodos, entre eles o método que associa a porosidade com a sorção de água pela resina acrílica tendo como base o Princípio de Arquimedes. O objetivo do presente estudo foi validar um método de análise da porosidade por meio de sorção de água em resinas acrílicas para base protética por meio da determinação de uma solução adequada de armazenamento dos espécimes (a_w ótima), em função de dois formatos de espécime (retangular, de acordo com a norma ISO 1567 e formato de uma base protética) e duas resinas acrílicas para base protética processadas de maneiras distintas: banho de água (Clássico) e microondas (Acron MC). As soluções de armazenamento utilizadas nesse estudo corresponderam a soluções de cloreto de cálcio anidro a 25%, 50%, 75%, e água destilada pura. Após a determinação dos grupos onde se estabeleceu a a_w ótima, foram calculados o fator de porosidade (FP) e o coeficiente de difusão (D) nesses grupos bem como para os grupos armazenados em água destilada pura. Os resultados de FP foram comparados por meio de análise de variância (ANOVA) para um fator, seguida pelo teste HSD de Tukey. Para o D, empregou-se o teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dunn (Acron MC, $P=0,003$; Clássico, $P=0,020$). Para todos os procedimentos estatísticos, o nível de significância foi $\alpha=0,05$. A partir dos resultados foi possível concluir que para a resina polimerizada em microondas (Acron MC), a a_w ótima é uma solução de cloreto de cálcio anidro a 50% para o formato base protética e de 75% para o formato ISO. Já para a resina polimerizada em banho de água quente (Clássico), concluiu-se que os espécimes para avaliação da porosidade devem ser armazenados em solução de cloreto de cálcio anidro a 75% para o formato base protética e 50% no formato ISO. Concluiu-se também que, para uma mesma resina, o formato do espécime não interferiu no FP desde que os espécimes sejam armazenados na a_w ótima estabelecida nesse estudo. Ainda, a comprovação de um maior valor de D na solução de água pura, indicando maior velocidade de entrada da água nos espécimes armazenados em água pura em relação à a_w ótima, corroborou com a nossa proposta. A sorção de água em todas as a_w apresentou-se dentro do limite ISO, porém, na água pura, observamos o efeito de plastificação.

Palavras-chave: Porosidade; resinas acrílicas; prótese total, propriedades físicas.

Abstract

Pero AC. Validation of a method for porosity evaluation in denture base resins [tese doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2008.

The study of porosity in acrylic resin has been carried out by means of diverse methods, among them the method that associates the porosity with the water sorption by acrylic resin which is based on Archimedes' Principle. The aim of the present study was to validate a method of porosity analysis by means of water sorption in denture base resins by the determination of an adequate solution of specimens storage (optimal aw), as a function of two specimen shapes (rectangular in accordance with ISO 1567 and denture base shape) and two denture base resins processed in different ways: water bath (Clássico) and microwave-polymerized (Acron MC). The storage solutions used in this study were anhydrous calcium chloride solutions at 25%, 50%, 75%, and distilled water. After the determination of optimal aw, porosity factor (FP) and diffusion coefficient (D) have been calculated in these groups and for the groups stored in distilled water. FP results have been compared by one-way ANOVA, followed for Tukey HSD test. For D, Kruskal-Wallis test was performed, followed by Dunn test (Acron MC, $P=0,003$; Clássico, $P=0,020$). For all the statistical procedures, the level of significance was $\alpha= .05$. From the results, it was possible to conclude that for Classico resin, the storage solution indicated for porosity evaluation is anhydrous calcium chloride solution at 50% for denture base shape, and 75 % for ISO shape. For the water bath-polymerized resin (Classico), it was concluded that the specimens for porosity evaluation must be stored in anhydrous calcium chloride solution at 75% for denture base shape and 50 % for ISO shape. It was also concluded that, for the same resin, specimen shape did not influence on FP since the specimens are stored in optimal aw established in this study. Still, the evidence of a bigger D value in distilled water, indicates bigger speed of entrance of water in specimens stored in distilled water in relation to optimal aw, corroborating with our proposal. For all storage solutions used in this study, water sorption results agree with ISO standard, however, in distilled water, plasticizing effect was observed.

Keywords: Porosity; acrylic resins; complete denture, physical properties.

Introdução

A reabilitação de um paciente desdentado total tem como função básica reintegrá-lo à sociedade, considerando que a perda dental prejudica a interação social do paciente. Quando essa reabilitação é realizada por meio de uma prótese total, a sua adequada confecção compreende uma série de procedimentos clínicos e laboratoriais essenciais que visam garantir ao paciente satisfação, estética, bem como devolver funções básicas do sistema mastigatório como mastigação, fonação e deglutição.

A prótese total é constituída de uma base protética de resina acrílica e dentes artificiais. Desde 1939, o material mais utilizado na composição das resinas acrílicas para base protética é o poli (metil metacrilato). No entanto, desde sua aprovação pela American Dental Association (ADA) e pelo National Bureau of Standards, diversos tipos de resina acrílica para base protética têm sido desenvolvidos e lançados no mercado, entre eles as resinas auto e termopolimerizáveis, as polimerizadas pela ação de luz visível e as polimerizadas pela energia por microondas.

O advento de novos materiais bem como as novas técnicas de processamento da resina acrílica para a confecção de bases protéticas têm o objetivo de aprimorar suas propriedades físicas e

mecânicas, como resistência flexural e ao cisalhamento, dureza; e de minimizar características indesejáveis, como a rugosidade e a porosidade⁶⁷.

No caso específico da porosidade, ela tem merecido uma atenção especial dos pesquisadores, pois ela causa sérios prejuízos às propriedades mecânicas da resina acrílica²⁷. Além disso, a presença de poros pode também estar relacionada ao manchamento da prótese e favorecer o acúmulo de microorganismos podendo causar inflamações na mucosa bucal do paciente portador de prótese total^{17,20}.

A porosidade pode ser causada por uma série de fatores. Alguns autores atribuem a formação de poros na resina acrílica ao ciclo de polimerização ao qual ela é submetida^{1,19,26,29,32,33,35,40}, tipo de resina^{2,33,35,40}, manipulação incorreta^{35,46}, fase de prensagem^{36,45,48,56}, espessura da prótese^{1,2,25,26,33}, e ainda à vaporização do monômero decorrente das elevadas temperaturas de polimerização^{35,46} e a presença de monômero residual na massa polimerizada^{28,29,32}.

Por ser uma característica indesejável, a presença de poros na resina acrílica tem sido investigada por muitos autores por meio de diversos métodos, entre eles, é possível citar a análise visual por meio de olho nu ou microscopia^{2,9,37,39,45,47,48,50,52,57,65,67,69}, e o método que associa a porosidade com o volume de água absorvida pela resina acrílica^{6,7,14,49}.

Ao se utilizar métodos que avaliam a presença de poros na resina acrílica, por meio da sorção de água, deve-se entender que a resina acrílica à base de poli (metil metacrilato) absorve água quando colocada em um meio aquoso, por um mecanismo primário de difusão³. Além disso, as macromoléculas de poli (metil metacrilato) são altamente complexas com conformação heterogênea, e apresentam espaços vazios, os quais variam de acordo com a sua composição e histórico de processamento⁴.

Uma das propriedades primárias das resinas acrílicas está relacionada às propriedades polares dos polímeros, que representa sua afinidade química com a água, e à presença desses “espaços”, o que está diretamente relacionado à sua capacidade de absorver água quando em imersão⁴. Em relação a essa afinidade química dos polímeros com a água, deve-se levar em conta que uma polimerização incompleta pode gerar grupos polares provenientes do ácido metacrílico, com características hidrofílicas⁴.

Braden¹¹, em 1964, introduziu a teoria de difusão para explicar os aspectos quantitativos da cinética de sorção de água. De acordo com a fórmula derivada da lei de Fick, o coeficiente de difusão relaciona a quantidade de água absorvida e o tempo para atingir-se o equilíbrio, o que é proporcional à espessura do espécime.

É importante ressaltar que, de acordo com a norma ISO 1567:2001, a sorção de água para resinas acrílicas para base

protética não deve ser superior a $32\mu\text{g}/\text{mm}^3$ ³¹. Dentro desse limite, a sorção de água é uma característica desejável, pois ela compensa parcialmente a contração de polimerização da resina, melhorando a adaptação da prótese clinicamente⁴¹.

Fatores como o tipo de resina acrílica, isto é, a sua composição, a presença de monômero residual após a sua polimerização e o tipo de solução na qual o material é imerso pode interferir na sorção de água^{4,5,41,64}. Ainda, a natureza química do polímero e a distribuição de suas moléculas bem como sua disposição geométrica são, segundo Arikan et al.⁴, fatores influentes na sorção de água.

Ainda há de se considerar que a introdução de moléculas de água dentro da massa polimerizada produz dois importantes efeitos. Primeiro, ela causa uma ligeira expansão da massa polimerizada. Segundo, as moléculas de água interferem no entrelaçamento da cadeia polimérica e, portanto, agem como um plastificante, alterando as características físicas do polímero resultante³.

Além da interação da água com as cadeias poliméricas produzir efeitos como a plastificação da estrutura, ela pode ainda produzir a ruptura de ligações químicas do polímero entre as cadeias, fatores que podem gerar uma sorção de água acima do limite recomendado pela ISO 1567³¹. Tal fato pode representar um problema crítico na durabilidade da resina acrílica, comprometendo o sucesso clínico do trabalho realizado⁵.

Muitos estudos concluíram que a sorção de água pela resina acrílica reduz suas propriedades mecânicas, além de interferir na sua estabilidade dimensional^{33,41,53} e, ainda, reduzir a sua temperatura de transição vítrea^{34,53}, que é a temperatura na qual o polímero passa de um estado rígido, vítreo para um estado macio, elastomérico ou borrachoso^{8,51}.

Todas essas considerações reforçam que o efeito plastificante da água na estrutura da resina acrílica é um conceito bem estabelecido e documentado na literatura^{3,5,60}. Contudo, a ocorrência do efeito plastificante gerado pela água no interior da resina acrílica não tem sido considerada pelos pesquisadores em suas avaliações, tendo em vista que nesses estudos os espécimes utilizados para se avaliar a presença de poros por meio da sorção são armazenados em água destilada pura^{6,7,14,49}.

A partir disso, julga-se importante validar o método de análise da porosidade que utiliza sorção de água, através de um método que venha a eliminar o efeito plastificante da água na estrutura da resina acrílica, visto que esse método além de ser um método de referência no estudo da porosidade em materiais poliméricos, tem sido utilizado por vários autores^{6,7,14,49}, na avaliação da porosidade em resinas acrílicas para base protética.

Segundo Smith, Schmitz⁶⁰, por meio do armazenamento da resina acrílica em soluções aquosas saturadas de

sais, o que permite variar a atividade de água, é possível estimar uma solução na qual o efeito plastificante da água não seja atuante (atividade de água ótima), já que é conhecida a atuação da água como plastificante em sistemas poliméricos. Dessa forma, formulamos em nosso estudo uma primeira hipótese de que a utilização de água destilada pura na aplicação do método de avaliação da porosidade resulta em valores de porosidade irreais. Sendo assim, acreditamos que o método de avaliação da porosidade por meio da sorção de água possa ser validado a partir da determinação de uma solução adequada de armazenamento dos espécimes.

Ainda, na avaliação da porosidade, a geometria dos espécimes assim como o processo de polimerização aos quais os mesmos são submetidos são aspectos importantes e significativos a serem considerados³³. Dessa forma, no presente estudo, uma segunda hipótese foi formulada no sentido de que o formato do espécime influencia na validação do método de análise da porosidade por meio de sorção de água, através da comparação dos valores de fator de porosidade (FP) obtidos na solução adequada de armazenamento (a_w ótima) e em água destilada pura.

O presente trabalho também considera uma terceira hipótese de que o processo de polimerização da resina acrílica tem influência na validação do método de análise da porosidade por meio de sorção de água para sistemas poliméricos utilizados em Odontologia.

Finalmente, a determinação dos valores de coeficiente de difusão (D), que indica a velocidade de entrada da água no interior da resina acrílica, pode ser determinante dentro de nossa proposta de validação do método de análise da porosidade em resina acrílica por meio de sorção de água.

Revisão da Literatura

O presente capítulo foi dividido em tópicos, considerando os aspectos relevantes e pertinentes ao tema desse trabalho.

Dessa forma, a literatura foi revisada no sentido de definir porosidade e a importância da sua avaliação, descrever os métodos relatados para a avaliação da porosidade e abordar aspectos diretamente relacionados ao objetivo de nosso trabalho em relação à sorção de água pela resina acrílica.

1- Aspectos teóricos

Nesse item, procuramos destacar alguns trabalhos da literatura que abordam os conceitos fundamentais para o desenvolvimento e discussão do presente estudo relacionado às propriedades dos polímeros e mais especificamente às resinas acrílicas para base protética.

Em 1964, Braden¹¹ demonstrou que a cinética de sorção e desorção de água em resinas acrílicas obedece às leis matemáticas de difusão, e que é descrita por dois parâmetros físicos

denominados *absorção de água no equilíbrio*, que representa a quantidade de água absorvida no momento em que se atingiu massa estável, e *coeficiente de difusão*, representado pela velocidade de entrada da água para o interior da resina acrílica. O autor observou que o aumento da temperatura de 22,5°C para 37,4°C resultou no aumento do coeficiente de difusão de 2 a 3 vezes, mas não teve efeito sobre o conteúdo de água absorvida no equilíbrio para as resinas estudadas. Esse estudo de absorção de água em resinas acrílicas para base protética foi embasado na teoria matemática da difusão documentada por Crank¹³, a qual é fundamentada na lei de Fick. Essa lei determina que o fluxo de água penetrante na resina acrílica deve ser proporcional à variação da concentração de água ao longo da espessura do espécime, na qual a água difundirá. Com base nessas teorias, o autor realizou a dedução da fórmula matemática que calcula o coeficiente de difusão, a qual foi utilizada em nosso estudo.

Em 1965, Roger⁵⁴ descreveu uma equação matemática que indica proporcionalidade entre o coeficiente de difusão (D) e um parâmetro de plastificação (γ): $D = D_0 \exp(\gamma \cdot C_{eq})$.

Tager⁶³, em 1978, definiu a porosidade como uma propriedade dos sólidos que está relacionada à sua estrutura e é expressa na presença de vazios (poros). De acordo com a autora, essa

definição evidencia que o conceito de porosidade pode ser aplicado aos sólidos, e que os poros são espaços não entre as moléculas, mas entre estruturas moleculares mais complexas. Dessa forma, o que se entende por porosidade é a fração em volume livre no interior do polímero no estado vítreo, o que indica a princípio que essa fração poderia ser fixa no espaço e no tempo, devido à baixa mobilidade dos segmentos moleculares do polímero no estado vítreo.

Labarre, Turner³⁸, em 1982, definiram as equações a serem utilizadas para a determinação da fração de água em microporos, em espécimes de resina poli (metil metacrilato) após diferentes períodos de imersão. Essa fração, também denominada *fração de água inativa*, corresponde à quantidade de água que ocupa espaços considerados poros. Já o termo *fração de água ativa* é usado para denominar a água que ocupa espaços entre cadeias poliméricas que não podem ser considerados poros, isto é, neste caso, a água atua efetivamente como plastificante da estrutura. Ainda, baseados na lei de Fick, descreveram a equação que resulta no cálculo do coeficiente de difusão e considera a espessura do espécime a ser estudado.

Smith, Schmitz⁶⁰, em 1988, ao estudarem o efeito da água na temperatura de transição vítrea de poli (metil metacrilato), verificaram a influência do efeito plastificante da água. Com base nesse

trabalho, ficou estabelecido que por meio da obtenção de isotermas de sorção, é possível estimar a atividade de água ótima (a_w ótima), na qual este procedimento de análise da porosidade pode ser realizado com segurança, baseando-se na exclusão do efeito plastificante da água. O termo atividade de água (a_w) é definido como a razão entre a pressão de vapor de água (p), numa solução contendo eletrólito ou sal, numa temperatura, e a pressão de vapor de saturação ou quando água pura (p_1), nesta mesma temperatura. A equação é dada por: $a_w = p / p_1$.

Anusavice³, em 1996, comentou que a introdução de moléculas de água dentro da massa de resina acrílica polimerizada causa uma ligeira expansão da massa polimerizada e, ainda, as moléculas de água interferem no entrelaçamento da cadeia polimérica e, portanto, agem como um plastificante, alterando as características físicas do polímero resultante.

Em 1998, Vallittu et al.⁶⁶ comentaram que a temperatura de transição vítrea (T_g) das resinas termopolimerizáveis está na faixa de 97 a 100°C, e 67 a 78°C para as resinas autopolimerizáveis. Os autores observaram que o conteúdo de monômero residual é afetado pela temperatura e pelo tempo de polimerização, sendo que as resinas termopolimerizáveis, devido ao ciclo de polimerização lento e gradual com

temperatura próxima a Tg, apresentam menor conteúdo de monômero residual e maior grau de polimerização.

2- Porosidade

Em 1961, a porosidade foi tema do estudo de Ohashi⁴⁶. Nessa ocasião, o autor procurou detectar os mecanismos responsáveis pela formação de porosidade interna na resina acrílica, bem como estudou algumas características que poderiam estar relacionadas com a formação de poros na resina acrílica, tais como a temperatura de polimerização, presença de ar decorrente da mistura pó/ líquido e contração de polimerização. A partir de suas observações, o autor comentou que a formação de poros não ocorre somente devido à vaporização do monômero durante a polimerização e que a temperatura média atingida durante a polimerização que resulta na formação de poros é 81,6°C. Ainda, o autor atribuiu a formação de poros ao ar incorporado na mistura monômero/ polímero que não é facilmente liberado pela formação de uma massa de resina densa. Por fim, concluiu que a existência de ar incorporado à mistura e a contração de polimerização são fatores decisivos na formação de poros.

Gettleman et al.²⁷, em 1977, polimerizaram quatro tipos de materiais à base de poli (metil metacrilato) utilizando diferentes

métodos: forno convencional, câmara de pressão, autoclave e forno de microondas. Os autores avaliaram a resistência à flexão, no entanto comentaram que pode haver prejuízo à essa propriedade quando a resina avaliada é considerada porosa. As resinas utilizadas nesse estudo apresentavam variações na sua composição, quanto ao volume e tamanho das esferas de polímero, o que caracteriza o material como uma resina porosa ou não porosa. Os autores concluíram que a resistência à flexão das resinas consideradas porosas equivale a 1/6 a 1/8 em relação a de um polímero denso, independente do método de polimerização utilizado nesse estudo.

Em 1979, Gay, King²⁶ comentaram que a ausência de porosidade na resina acrílica é essencial para promover uma superfície lisa e fácil de ser polida.

No mesmo ano, Faraj, Ellis²⁴ comentaram que a porosidade em resina acrílica para base protética é causada pelo aumento brusco da temperatura decorrente da reação exotérmica durante o processo de polimerização. Ainda, os autores comentaram que essa temperatura pode variar dependendo da proporção pó/ líquido da resina, do tamanho e da geometria do espécime, e da condutividade do material que envolve a resina durante a polimerização.

Segundo Keller, Lautenschlager³⁵, em 1985, a porosidade da resina acrílica tem sido atribuída a uma série de fatores como ar incorporado na mistura, contração do monômero durante a polimerização, e a vaporização do monômero resultante da reação exotérmica. Segundo o autor, dependendo das condições de polimerização, uma porcentagem de 11% de porosidade tem sido associada à redução de propriedades mecânicas e pobre estética.

Wolfaardt et al.⁶⁷, em 1986, comentaram que a porosidade em poli (metil metacrilato) resulta em stress na estrutura tornado-a mais vulnerável à distorção e sorção de água. Ainda, os autores comentaram que há um consenso na literatura de que essa porosidade na resina acrílica pode favorecer a colonização de microrganismos e retenção de fluidos. Nesse trabalho, os autores citaram que a Academy of Denture Prosthetics (1968) considera que uma prótese para ser higienicamente aceitável não deve apresentar poros, porque a porosidade facilitaria o manchamento da resina, a deposição de cálculo, bem como a aderência de outras substâncias. Os autores ainda comentaram que é praticamente impossível isolar um único fator que causa a formação de poros.

Em 1989, Jerolimov et al.³³ observaram que as diferentes espessuras e geometrias de uma prótese podem interferir na

dissipação do calor gerado na polimerização, o que leva à formação de poros.

De Clerck¹⁹ e Honorez et al.²⁹ comentam que a porosidade é um fenômeno complexo, de origem multifatorial, e que poros pequenos de tamanho e formato uniforme são comuns em materiais poliméricos.

3- Métodos de avaliação da porosidade

Na avaliação da porosidade da resina acrílica, uma variedade de métodos é reportada na literatura, o que foi afirmado por Yannikakis et al.⁶⁹, em 2002.

O primeiro trabalho com o objetivo de avaliar a porosidade na resina acrílica poli (metil metacrilato) termopolimerizável utilizando energia de microondas foi desenvolvido por Nishii⁴⁴, em 1968. Esse autor avaliou algumas propriedades de uma resina acrílica termopolimerizável convencional polimerizada por meio da energia de microondas. Dentre as propriedades, o autor avaliou a porosidade e a sorção de água. Os espécimes para avaliação da porosidade tinham 65 mm de comprimento x 13 mm de largura x 9 mm de espessura e foram irradiados por 9 min em muflas metálicas perfuradas, sendo que no

interior do forno de microondas havia um recipiente contendo água para prevenir o sobreaquecimento do forno. A avaliação da porosidade foi feita visualmente, sendo que o autor classificou a presença de poros nos espécimes como insignificante, moderada ou severa. Os resultados demonstraram que porosidade insignificante foi observada quando a potência das microondas era diminuída, e que aumentando a quantidade de água no recipiente colocado no interior do forno, a porosidade era consideravelmente reduzida. Em relação à sorção de água, os espécimes tinham 2,5 mm de espessura, foram armazenados em água destilada a 37°C e pesados após intervalos de 24 horas e também após 24 dias. O autor observou que os espécimes polimerizados em microondas apresentaram menor porcentagem de água absorvida comparados aos espécimes polimerizados em água em ebulição. Segundo o autor, a menor quantidade de água retida pela resina acrílica nos grupos polimerizados em microondas se deve ao menor número de grupos polares formados no polímero após esse processo de polimerização.

Smolareck⁶¹, em 1972, investigou a porosidade em resinas acrílicas poli (metil metacrilato) empregadas na confecção de bases protéticas. Esse estudo da porosidade também foi realizado por meio visual. Os espécimes eram bases protéticas mandibulares e foram polimerizados em banho de água, variando os fatores tempo/temperatura. Foram empregados 8 ciclos diferentes com aumento de 15

minutos de um para outro, até alcançar-se a temperatura de 65° C. Dessa última temperatura até a ebulição da água foram consumidos 30 minutos, permanecendo em ebulição por 90 minutos em todos os ciclos. Após o processamento e demuflagem, os espécimes foram cortados simetricamente em três partes no sentido transversal e esses cortes foram examinados e fotografados para análise visual. O autor observou que o binômio tempo/ temperatura influencia na porosidade interna da resina acrílica e constataram que há porosidade em quantidade inversamente proporcional ao tempo consumido durante a polimerização para alcançar-se a temperatura de 65° C.

Gay, King²⁶, em 1979, avaliaram a porosidade em espécimes de diferentes espessuras, variando também os ciclos de polimerização utilizando pressão exercida durante a polimerização, o ciclo convencional em banho de água e em ebulição. A porosidade foi avaliada visualmente, sendo que os autores utilizaram *scores* para classificar a porosidade presente nas amostras (0: presença de pequenas bolhas na amostra; 1: poros espalhados na amostra; 2: porosidade severa). Concluíram que espécimes de resina acrílica com espessura superior a 10 mm podem ser processados sem que ocorram poros utilizando-se o ciclo convencional em banho de água por 9 horas a 75°C. Frente aos resultados de porosidade obtidos, os autores também concluíram que o

método de polimerização sob pressão é válido para os procedimentos de confecção de próteses.

Faraj, Ellis²⁴, ainda em 1979, estudaram o efeito da temperatura atingida durante o processamento de três resinas acrílicas para base protética sobre algumas propriedades, entre elas a porosidade. A temperatura de processamento dos espécimes foi controlada com um termômetro de mercúrio. Os espécimes tinham formato de discos de 8 mm de espessura. Os autores observaram a formação de poros internos por meio de fotomicrografias de espécimes seccionados, sendo que o diâmetro médio dos poros encontrados foi de $2,9 \times 10^{-2}$ mm. Os maiores resultados de porosidade foram encontrados quando os espécimes foram polimerizados em banho de água a 100° C e foi atingida a temperatura de 136° C após 25 min de processamento, decorrente da exotermia da reação.

Firtell, Harman²⁵, em 1983, também avaliaram a porosidade de maneira visual, em espécimes de resina acrílica quadrados de lados medindo 19,5 mm e diferentes espessuras (1,5 a 19,5 mm, com aumentos entre cada espessura de 1,5 mm). Para essa avaliação, os autores utilizaram um paquímetro digital e uma lente de aumento de 10 vezes. Os autores também variaram o ciclo de polimerização, sendo que a resina polimerizada a 74°C por 9 horas não apresentou poros em

nenhuma das espessuras avaliadas. Já para o ciclo de 20 minutos em água em ebulição, a porosidade aumentou progressivamente a partir da espessura de 6 mm.

Ainda no ano de 1983, Kimura et al.³⁷, avaliaram a porosidade em uma resina acrílica para base protética termopolimerizável convencional polimerizada em microondas variando o tempo de polimerização (2, 3, 5, 10 e 15 minutos) à potência de 500W, a espessura do corpo-de-prova (5 e 10mm) e o modo de resfriamento pós-polimerização (água gelada à 0°C, água fria à 15°C e no ar à 20°C). Esses autores foram os pioneiros a utilizar uma mufla específica para polimerização em forno de microondas. Os espécimes foram analisados visualmente quanto à presença de poros. Não ocorreu porosidade nos espécimes de 5 mm irradiados por 3 minutos a 500 W de potência e, na espessura de 10 mm, a menor quantidade de poros foi observada nas amostras resfriadas à 20°C. A maior concentração de poros ocorreu no centro das amostras.

Em 1985, Reitz et al.⁵² avaliaram a porosidade em espécimes de resina acrílica de 25 mm de comprimento e 12 mm de largura, variando a espessura e o ciclo de polimerização. Como não foi possível observar a formação de poros a olho nu, os autores relataram terem utilizado aumento de 20 vezes para examinar e fotografar os

espécimes. A área incluída nas fotografias foi de aproximadamente 2,4 x 1,9 mm. O número de poros foi contado em cada área fotografada para cada espécime e classificado como: (1) menos que 10 poros; (2) menos que 20; (3) 20 ou mais poros. A maior área de poros observada teve tamanho menor que 30 μ m. Com o aumento da espessura dos espécimes para 10 mm e quando polimerizados em microondas observou-se porosidade visível concentrada centralmente em 70% da amostra, enquanto que a polimerização em banho de água não causou porosidade visível em aumento de 10 vezes no microscópio óptico. Ainda, os autores observaram que ao diminuir a potência para 90W e aumentarem o tempo de irradiação no microondas para 13 minutos, a porosidade foi reduzida em 30% dos casos, mesmo nos espécimes mais espessos.

Keller, Lautenschlager³⁵, ainda em 1985, investigaram os fatores pressão exercida durante a polimerização, proporção pó/líquido e tamanho das partículas de pó como possíveis causas na formação de poros na resina acrílica. Três tipos de resina acrílica autopolimerizáveis foram estudadas. Neste trabalho, um método diferente foi utilizado para a avaliação da porosidade, até então avaliada por meio de observação visual. A porcentagem de porosidade foi calculada a partir de uma equação que associava a densidade da resina acrílica nas diferentes condições de pressão de polimerização. Os autores concluíram que a alteração da proporção pó/líquido bem como do tamanho das

partículas do pó constitui um método de reduzir a porosidade sem a necessidade de se adicionar pressão durante o processo de polimerização.

Por meio de observação visual e utilizando um microscópio óptico, Wolfaardt et al.⁶⁷, em 1986, investigaram a ocorrência e a natureza da porosidade em uma resina acrílica termopolimerizável para base de prótese. Os poros foram avaliados quanto à concentração, forma, tamanho e posição, sendo que o mesmo corpo-de-prova utilizado apresentava variadas espessuras. Dois ciclos de polimerização foram utilizados, sendo um curto (água em ebulição por 60 minutos) e o outro longo (73°C por 90 min seguido de 100°C por 30 min). A frequência de poros em cada espécime foi expressa em números e porcentagem, de acordo com a localização dos poros (área central, média e periférica do corpo-de-prova). Todas as observações de tamanho de poros foram feitas com aumento de 8 ou 25 vezes. Os autores classificaram os poros observados em relação ao formato (regular, irregular e uma combinação de ambos os formatos); tamanho: (1) poros com diâmetro maior ou igual a 1 mm; (2) poros menores que 1 mm e (3) combinação das duas primeiras categorias; e posição: interna, externa ou combinação de ambos. De maneira geral, os resultados indicaram que os fatores que geram porosidade são mais atuantes em maiores espessuras de acrílico poli (metilmetacrilato) do que em regiões mais finas.

De Clerck¹⁹, em 1987, estudou a polimerização da resina acrílica para base protética por meio da energia de microondas. Esse autor abordou amplamente as características desse método de polimerização. O objetivo desse trabalho não foi a avaliação da porosidade, e sim a caracterização de aspectos relacionados à polimerização da resina acrílica por meio da energia de microondas. No entanto, na tentativa de otimizar esse método, o autor empregou vários testes e observou visualmente que as amostras submetidas a altas potências no forno de microondas no início da polimerização apresentaram porosidade externa, enquanto que quando submetidas a altas potências no final do processamento, as amostras apresentaram porosidade interna.

A porosidade foi avaliada por Sanders et al.⁵⁷, em 1987. Cinco tipos de resina acrílica para base protética foram utilizados, sendo apenas uma específica para polimerização em microondas. Foram empregados dois ciclos de polimerização em microondas e um em banho de água. A análise da porosidade foi feita pelo método visual por meio de escala representativa. Seis espécimes foram selecionados dentre a amostra para representar o grau de porosidade, variando em uma escala de 1 (porosidade mínima ou ausência de poros) a 6 (porosidade presente em toda a superfície). Esses espécimes foram fotografados para serem

usados pelos examinadores como referência para classificação de toda a amostragem. A partir dos resultados obtidos, os autores concluíram que o método de polimerização por meio da energia de microondas pode ser aplicado, uma vez que menos porosidade foi observada em relação ao método convencional para dois dos cinco materiais testados.

Ao utilizarem um microscópio ótico para avaliação da porosidade de quatro resinas acrílicas termopolimerizáveis convencionais, Al Doori et al.¹ em 1988, observaram que a espessura do espécime bem como o método de processamento tem papel decisivo na formação de poros. Os autores observaram que ocorre porosidade principalmente em espécimes com espessura superior a 3 mm quando as resinas termopolimerizáveis estudadas foram polimerizadas em microondas. Os autores não informaram o aumento utilizado na observação dos espécimes.

Truong, Thomasz⁶⁵, em 1988, avaliaram a porosidade em espécimes de resina acrílica por meio de microscopia ótica com aumento de 10 vezes. Quatro tipos de resina acrílica (Trevalon, QC 20, Vertex RS e Ivocryl) foram polimerizadas em quatro diferentes ciclos de polimerização em microondas e um em água em ebulição (controle). Os autores observaram poros de tamanho variando entre menos de 0,5 até 4 mm de diâmetro. Comparativamente ao ciclo controle, os ciclos em

microondas resultaram em espécimes com maior quantidade de poros, e os autores também concluíram que a porosidade foi diminuída quando a energia de microondas fornecida no início da polimerização foi controlada.

Em 1989, Jerolimov et al.³³ observaram a porosidade de vários tipos de resina acrílica variando não somente o ciclo, mas também as concentrações de peróxido de benzoíla e de dimetil p-toluidina, que são, respectivamente, iniciador e ativador da reação de polimerização da resina. Os espécimes também variaram em espessura (3, 6 e 9 mm) e no processamento em banho de água (ciclo 1: 7 horas a 70° C mais 3 horas a 100° C; e ciclo 2: água em ebulição por 20 min). A porosidade foi classificada subjetivamente por *scores*: (1) ausência de poros; (2) porosidade reduzida; e (3) porosidade severa. Essa escala foi feita de acordo com o grau de porosidade observado na amostra, por meio de espectrofotometria. Os autores não observaram poros nos espécimes polimerizados no ciclo em banho de água considerado longo, independente da espessura.

Shlosberg et al.⁵⁸, em 1989, avaliaram, entre outras propriedades, a porosidade em bases protéticas confeccionadas com uma resina acrílica termopolimerizável convencional (Lucitone). Foi utilizado um ciclo em banho de água (74° C por 8 horas) e outro em microondas (13 min a 90 W na posição vertical seguidos de 90 s a 500 W na

horizontal). Após o processamento, as bases foram seccionadas no sentido médio-lateral na região de primeiro molar, polidas e avaliadas visualmente com aumento de 10 vezes em microscópio. Não foram observados poros nas bases de resina polimerizadas no ciclo em banho de água.

Alkhatib et al.², em 1990, avaliaram a porosidade na resina acrílica utilizando um microscópio metalográfico Neophot-21. Os autores não informaram o aumento utilizado nessa avaliação. Dois tipos de resinas acrílicas específicas para polimerização em microondas e uma resina termopolimerizável foram comparadas. Além disso, a espessura dos espécimes variou de 3,0 a 17,7 mm. A porosidade foi classificada considerando o tamanho dos poros observados, de acordo com a seguinte escala: porosidade insignificante (10 a 100 μm), porosidade moderada (100 a 500 μm), ou porosidade severa (poros maiores que 500 μm). Quando a resina termopolimerizável foi polimerizada em microondas no ciclo longo, a porosidade apresentou-se severa para espécimes acima de 3 mm, enquanto que a resina própria para microondas polimerizada nesse mesmo ciclo apresentou poros somente em espessuras acima de 8 mm.

O método de avaliação da porosidade que se baseia no princípio de Arquimedes foi primeiramente utilizado por Bafile et al.⁶,

em 1991. Nesse método, a porcentagem de porosidade é relacionada com a densidade da resina acrílica e com a massa do espécime antes e após sua imersão em água, por meio de uma fórmula específica. Essa fórmula associa a porosidade com a quantidade de água absorvida pela resina acrílica. Os resultados foram expressos em porcentagem de porosidade. No mesmo trabalho, os autores também observaram a formação de poros internos na superfície do espécime seccionado, utilizando microscopia com aumento de 10 vezes. Foram avaliadas resinas termopolimerizáveis e específicas para microondas polimerizadas em diferentes ciclos no forno de microondas. Os melhores resultados foram obtidos quando um monômero específico para polimerização em microondas foi utilizado, sendo que esses valores foram semelhantes ao encontrado para o grupo polimerizado em banho de água. Os valores de porcentagem de porosidade nesses grupos variaram entre 0,74 e 1,04%. Os dois grupos com pior desempenho foram polimerizados em microondas e apresentaram % de porosidade 1,45 e 1,97, não havendo diferença estatística entre eles, sendo que nesses grupos polimerizados em microondas não foi utilizado o monômero específico para esse tipo de polimerização e foram encontrados os maiores poros na superfície interna dos espécimes, medindo até 5 mm de diâmetro. Os autores concluíram que a energia de microondas pode ser utilizada para a polimerização de resinas acrílicas para próteses livres de porosidade quando uma resina

específica para microondas for utilizada e, ainda, quando a combinação potência/ tempo no forno de microondas for adequada.

Nowlin et al.⁴⁵, em 1993, compararam a porosidade em dois tipos de resinas acrílicas para base protética específicas para polimerização em microondas (Acron MC e Justi) com uma resina termopolimerizável convencional (Paragon). Os espécimes foram avaliados quanto ao ciclo de polimerização, sendo que todos os ciclos testados foram em microondas, e ao tempo decorrido entre a prensagem e a polimerização. Um microscópio ótico com aumento de 8 vezes foi utilizado para observar os poros nas superfícies de toda a amostra. Para cada grupo experimental, o número de poros foi contado, bem como o tamanho e a localização dos mesmos foram avaliados. Os poros encontrados foram classificados pelos autores como pequenos ou médios, e a localização variou entre difusa ou concentrada no centro da amostra. De maneira geral, os resultados indicaram que os materiais testados específicos para polimerização em microondas resultaram em menor porosidade quando comparados à resina termopolimerizável convencional polimerizada também em microondas.

Em 1994, Ilbay et al.³⁰ verificaram a influência de vários ciclos de polimerização em microondas sobre algumas propriedades da resina acrílica, entre elas a porosidade, utilizando uma

resina acrílica termopolimerizável. Por meio de análise visual, os autores observaram mais poros nos espécimes polimerizados sob altas potências, embora a porosidade observada não tenha sido significativa em nenhum dos espécimes testados. Concluíram que o método de polimerização em microondas pode ser aplicado também para resinas acrílicas convencionais sem prejuízo às suas propriedades.

No ano de 1996, Ming et al.⁴² compararam um método de polimerização sob pressão ao método convencional em banho de água para a polimerização da resina acrílica. Os espécimes preparados para a análise da porosidade foram observados por meio de análise visual com aumento de 20 vezes. Não foi observada porosidade significativa em ambos os métodos de polimerização avaliados.

No mesmo ano, o trabalho de Kimpara, Muench³⁶ avaliou a porosidade da resina acrílica Clássico variando-se o tempo de espera entre prensagem e polimerização, a fase da resina na prensagem e a espessura do espécime. A presença de poros foi avaliada visualmente por meio de *scores* de 0 (ausência de poros) a 5 (grande presença de poros), sendo que os escores intermediários foram atribuídos para graus de porosidade intermediários. A partir dos resultados, os autores indicaram prensar a resina na fase borrachóide, iniciar a polimerização 24

horas após a prensagem e reduzir a espessura do material a fim de se obter menos porosidade.

Samuel et al.⁵⁶, em 1996, avaliaram a porosidade de uma resina acrílica termopolimerizável (Clássico) em função do tempo decorrido entre a prensagem e a polimerização. Utilizaram intervalos de 15 minutos, 12 horas, 44 horas, 1 semana, e 2 semanas. Foram realizadas duas formas de avaliação da porosidade dos espécimes. Na primeira, por meio de análise visual, os poros foram contados em uma área de 4 cm² localizada centralmente em cada espécime. O segundo método de avaliação da porosidade empregado pelos autores foi o teste de sorção de água, após 7 dias de armazenamento, de acordo com a especificação nº 12 da ADA. Nesse teste, a absorção de água é determinada por meio da diferença de massa dos espécimes antes e após o período de armazenamento em água destilada. Não foi constatada porosidade, visível a olho nu, em nenhum dos grupos avaliados, bem como não houve diferença entre as médias de absorção de água nos diferentes grupos.

O tempo decorrido entre a prensagem e a polimerização também foi estudado por Paes Júnior et al.⁴⁸ em 1999, para avaliarem a presença de poros nas resinas acrílicas para base protética Clássico e Onda-Cryl. Os autores ainda variaram o método de

polimerização (banho de água e microondas) e a fase da prensagem (pegajosa, plástica e borrachóide). Os espécimes em formato de cubo de resina acrílica incolor foram avaliados visualmente e classificados por *scores* de 0 a 3. Os resultados demonstraram que o grupo com menor ocorrência de poros foi o polimerizado em banho de água após um período de 24 horas pós-prensagem, sendo prensados nas fases pegajosa ou borrachóide.

Borges et al.⁹, em 2000, analisaram, entre outras propriedades, a porosidade da resina acrílica QC-20 sob influência de diferentes ciclos de polimerização. Três grupos foram formados, de acordo com o ciclo de polimerização: Grupo 1) banho de água quente à 74° C por 9 horas; Grupo 2) ciclo do fabricante: água em ebulição por 20 minutos; e Grupo 3) irradiação em microondas por 3 minutos a 500W. Os espécimes foram confeccionados com o auxílio de uma matriz retangular de alumínio de 65 mm de comprimento, 10 mm de largura na superfície superior e 9 mm na superfície inferior, e 3,5 mm de espessura. Para a avaliação da porosidade, foi utilizada uma matriz metálica com as mesmas dimensões do corpo-de-prova, com três orifícios circulares de 0,5 cm de diâmetro, sendo um em cada uma das extremidades e um na parte central. Essa matriz foi utilizada para delimitar as regiões que foram analisadas quanto à presença de poros. A contagem dos poros foi realizada utilizando-se uma lupa estereoscópica com aumento de 63

vezes, após a imersão dos corpos-de-prova em tinta nanquim por duas horas. Embora os autores terem encontrado maior número de poros nos espécimes polimerizados em microondas, não foi significativa a diferença entre os ciclos comparados no estudo.

A fim de determinar o tamanho e a localização dos poros em duas resinas acrílicas, sendo uma específica para microondas (Acron-MC) e uma termopolimerizável convencional (Paladon 65), Yannikakis et al.⁶⁹, em 2002, avaliaram a porosidade por meio de um método fotográfico. Após a polimerização, os espécimes de 40 mm de comprimento x 10 mm de largura e espessuras de 3 ou 6 mm foram seccionados e três superfícies foram analisadas quanto à presença de poros por meio de microscopia com aumento de 100 vezes. As superfícies analisadas foram fotografadas com uma câmera acoplada ao microscópio. O perímetro de cada poro foi delimitado com uma caneta de ponta fina em cada fotografia, e a área do poro foi mensurada com um planímetro digital, instrumento utilizado nas áreas de engenharia e arquitetura para medir a área de uma superfície plana arbitrária. Os autores também contaram o número de poros encontrados em cada superfície, de acordo com a sua localização (central, dispersa ou concentrada nas extremidades da superfície). Os fatores de variação do estudo foram o material, o ciclo de polimerização e a espessura da resina acrílica (3 e 6 mm), sendo um ciclo em microondas curto (3 minutos a 500W) e um longo

(13 minutos a 90W mais 500W por 2 minutos), e um ciclo rápido em banho de água quente. A resina Paladon 65 polimerizada em banho de água não apresentou porosidade, independente da espessura. Porém, quando polimerizada em microondas, independente do ciclo, essa resina apresentou porosidade severa na maior espessura. Já quando polimerizaram em microondas a resina acrílica específica para este método, a porcentagem de poros encontrada foi extremamente menor, sendo estes de dimensões clinicamente insignificantes, independente da espessura. De maneira geral, o maior número de poros observados nesse estudo teve área de aproximadamente $0,01 \text{ mm}^2$. Em 81% das superfícies avaliadas, a maior concentração de poros ocorreu próximo ao centro da superfície, em 15% eles se apresentaram de maneira dispersa e em 4% das superfícies os poros se concentraram nas extremidades.

Em 2003, Oliveira et al.⁴⁷ procuraram observar a influência do número e da posição das muflas no interior do forno de microondas sobre a dureza, porosidade e liberação de monômero residual. Foram confeccionados espécimes da resina Acron MC ($n = 60$) processados em microondas variando o número e a posição das muflas no interior do forno, uma ou duas muflas, a 500W por 3 e 4,5 minutos, respectivamente. Para a avaliação da porosidade, uma área de 1 cm^2 foi delimitada no centro de cada espécime e observada com aumento de 40 vezes, por meio de microscópio. Os poros foram contados para cada área

em cada espécime, e um valor médio foi calculado para cada grupo. Os fatores avaliados não tiveram influência sobre a porosidade e a dureza. Os autores concluíram que a irradiação por microondas sobre duas muflas simultaneamente pode ser realizada com sucesso se elas estiverem posicionadas lado a lado no interior do microondas.

Barbosa⁷, também em 2003, avaliou a resistência à flexão e a porosidade da resina acrílica em função de diferentes ciclos de polimerização e espessuras do corpo-de-prova (2,0; 3,5 e 5,0 mm). Foram avaliados três ciclos em microondas, em comparação a dois ciclos controle, sendo um positivo (polimerizado em banho de água) e um negativo (resina autopolimerizável polimerizada em câmara de pressão). A porosidade foi avaliada por meio do método de sorção de água. Em relação à presença de porosidade, independente da espessura, a polimerização por meio da energia de microondas não interferiu no aumento da porosidade, e em todos os ciclos avaliados, exceto o controle negativo, a menor espessura apresentou a maior porcentagem de porosidade.

A polimerização da resina acrílica utilizando-se múltiplas muflas no forno de microondas também foi tema do estudo de Botega et al.¹⁰, em 2004. Todos os espécimes foram confeccionados com a resina Acron MC polimerizada por 3, 4.5, 8.5 e 13 minutos a 450 W,

com dimensões de 32 x 10 x 2,5 mm para a avaliação da porosidade. O número de poros foi contado em uma área de 31 mm² delimitada na região central de cada corpo-de-prova, sendo que esta análise foi feita por meio de microscopia com aumento de 100 vezes. A partir da contagem dos poros, cada grupo recebeu um *score*: (L) *light* – número de poros menor que 30; (M) *moderate* – número de poros entre 30 e 70; e (H) *heavy* – mais de 70 poros presentes. O único espécime classificado como (M) apresentou 31 poros, e pertencia ao grupo polimerizado por 3 minutos. Todos os outros espécimes apresentaram porosidade considerada *light*. O número de muflas polimerizadas simultaneamente no microondas (1, 2, 4 ou 6) não influenciou nos resultados de porosidade.

Compagnoni et al.¹⁴, em 2004, utilizaram o método que calcula a porcentagem de porosidade na resina acrílica por meio da mensuração do volume dos espécimes antes e após sua imersão em água. Utilizaram uma resina acrílica própria para microondas (Onda-Cryl) polimerizada em três ciclos: A) 3 minutos a 500W; B) 13 minutos a 90W (mufla na posição vertical) mais 90 segundos a 500W (mufla na horizontal); C) 3 minutos a 320W, seguidos de 4 minutos de pausa, e mais 3 minutos a 720W; em comparação a uma resina acrílica polimerizada através do ciclo convencional em banho de água (Clássico). Os autores concluíram que a porcentagem de porosidade foi semelhante entre os três ciclos de microondas testados (A: 1,04%; B: 0,91%; C: 0,88%) e também

não houve diferença entre os espécimes polimerizados em microondas e pelo método convencional em banho de água (0,93%).

No mesmo ano, Lai et al.³⁹, analisaram a porosidade em blocos de resina acrílica para base protética polimerizados por meio da energia de microondas e pelo método convencional em banho de água. Os blocos de resina tiveram suas superfícies polidas, as quais foram escaneadas e, por meio da análise visual das imagens obtidas, a porosidade foi avaliada e expressa em porcentagem. A estatística não detectou diferença entre os grupos em relação à porosidade, sendo que os resultados foram: ciclo convencional 0 – 10%; microondas a 80 W – 60%; 160 W – 65%; 240 W – 40%; e 560 W – 80%. A porosidade foi um dos itens avaliados no estudo, no entanto o objetivo desse trabalho foi determinar o tempo e a potência necessários para a completa polimerização da resina, além de verificar se a morfologia dos espécimes polimerizados nos diferentes ciclos variava significativamente.

Pero et al.⁵⁰, em 2006, verificaram a presença de poros em diferentes regiões de bases protéticas de resina acrílica de prótese total superior, confeccionadas em diferentes ciclos de polimerização por meio da energia de microondas em relação ao ciclo de polimerização convencional em banho de água quente. As bases protéticas foram seccionadas no sentido transversal em três diferentes

regiões e observadas em um microscópio ótico com lentes objetiva de 40x e oculares de 0,63x. Esse microscópio era acoplado a um computador, e por meio de um *software* (Image Processing Analysis System – Leica Imaging Systems Ltd, Cambridge, London) as áreas correspondentes aos poros internos na base da prótese total superior foram quantificadas em mm². Os autores concluíram que a presença de poros não sofreu influência do ciclo de polimerização e da área da base protética maxilar analisada.

Recentemente, em 2008, a porosidade da resina acrílica foi avaliada por Pero et al.⁴⁹ por meio do método que associa essa característica com a quantidade de água absorvida pela resina. Os espécimes em formato de base protética foram avaliados quanto à espessura (2,0; 3,5 e 5,0 mm) e polimerizados em três ciclos de polimerização em microondas comparados ao método convencional em banho de água. Os valores de porcentagem de porosidade não sofreram influência dos fatores espessura e ciclo de polimerização somente para os espécimes polimerizados em banho de água. Nesse grupo, os valores de porcentagem de porosidade encontrados para as espessuras 2,0; 3,5 e 5,0 mm foram, respectivamente, 1,51%; 0,45% e 1,62%.

4- Sorção

A capacidade de a resina acrílica absorver água foi observada em 1946 por Skinner⁵⁹. O autor comentou que a entrada de água entre as moléculas de metil metacrilato ocorre em grande parte durante a imersão da resina em água a 37°C pelo período de uma semana e que, depois disso, aumentos perceptíveis ocorrem ainda por 6 semanas ou mais.

O efeito da sorção de água pela resina acrílica na retenção de bases protéticas foi investigado por Campbell¹² em 1956. O autor mensurou a retenção de bases protéticas de dois tipos de resina acrílica, uma moldada por compressão e a outra por injeção, após armazenamento em água a temperatura ambiente por diferentes períodos. Os testes foram realizados tanto em laboratório como clinicamente. A retenção foi mensurada pela massa, em gramas, necessária para deslocar a base em resina acrílica de um modelo maxilar padrão em alumínio. Em ambos os experimentos, laboratorial e clínico, a sorção de água resultou em aumento de retenção da base protética, sendo que o tipo de resina acrílica não influenciou nos resultados. Ainda, o autor observou que a sorção de água pela resina acrílica continua por um período de tempo maior do que o observado em estudos prévios.

O efeito de diferentes ciclos de polimerização sobre algumas propriedades da resina acrílica, entre elas a sorção de água, foi avaliado por Jagger³², em 1978. Os espécimes da resina acrílica para base protética Kallodent 333 apresentaram maior sorção de água quando polimerizados utilizando-se temperatura de 100°C. O autor ainda constatou que, quando polimerizada nessa temperatura, a resina apresentou maior concentração de monômero residual. O coeficiente de difusão da água para o interior da resina acrílica também foi calculado como descrito por Braden¹¹ em 1964 nas diferentes condições experimentais. Segundo o autor, a presença de monômero residual afeta adversamente as propriedades da resina acrílica por produzir um efeito plastificante da estrutura, o que reduz as forças entre as cadeias do polímero.

Phillips⁵¹, em 1982, comentou que uma resina acrílica para base protética convencional requer um período de quase 17 dias para tornar-se totalmente saturada quando imersa em água a temperatura ambiente.

A capacidade de sorção de água e o coeficiente de difusão foram, entre outras, propriedades de sorção estudadas por Söderholm⁶², em 1984, para um típico copolímero utilizado em um compósito odontológico [bis (GMA)/ TEGDMA]. O autor comentou que o

coeficiente de difusão da água para resina acrílica poli (metil metacrilato) é 4 vezes maior comparado ao bis (GMA)/ TEGDMA e explica que isso pode estar relacionado com a presença de agentes de ligação cruzada na resina bis (GMA)/ TEGDMA), caracterizando uma estrutura mais estável, o que restringe rotações das cadeias poliméricas e portanto reduz a probabilidade de as moléculas de água se difundirem para “espaços vazios”.

Kalachandra, Turner³⁴, em 1987, estudaram a influência de plastificantes no transporte de água em polímeros vítreos com aplicação odontológica. Os espécimes em formato de disco de 1,4 cm de diâmetro e 0,1 cm de espessura foram confeccionados a partir de misturas de metil metacrilato (MMA) e ftalatos (dietil ftalato e diotil ftalato). Os autores observaram que a sorção de água foi reduzida na presença de plastificadores pela sua natureza hidrofóbica e, ainda, por ocuparem microporos que poderiam acomodar água. O coeficiente de difusão da água para interior dos materiais testados aumentou proporcionalmente ao aumento do conteúdo de plastificantes.

Ristic, Carr⁵³, em 1987, procuraram avaliar alterações na dimensão vertical em um tipo de resina acrílica termopolimerizável, após sorção de água. As amostras foram imersas em solução de gluconato de clorexidina a 0,5% a 37° C. Segundo os autores, essa

solução foi escolhida para imersão para prevenir o crescimento de microorganismos na solução. As mensurações foram realizadas em intervalos de 1, 2, 7, 14, 21 e 28 dias de sorção, com um paquímetro digital eletrônico a 0,001 mm. Os autores observaram aumento na dimensão vertical de oclusão de 0,096 mm após 3 semanas de imersão.

Davis, Carmichael¹⁸, em 1988, teceram comentários a respeito do efeito plastificante de substâncias existentes na composição de materiais reembasadores e possíveis conseqüências desse efeito sobre resinas de base protética. Os autores discutiram que na resina acrílica termopolimerizável a existência abundante de agentes de ligação cruzada entre as cadeias poliméricas dificulta a penetração dos plastificadores presentes nos materiais reembasadores. Por outro lado, as resinas autopolimerizáveis possuem baixa temperatura de transição vítrea (T_g) e, por isso, são mais susceptíveis ao efeito dos plastificadores. Ainda, os autores comentaram que a presença de monômero residual nesse tipo de resina também atua como plastificador, reduzindo ainda mais a sua T_g .

A sorção de água foi uma das propriedades avaliadas por Truong, Thomasz⁶⁵, em 1988. Os autores estudaram a resina acrílica Trevalon polimerizada em microondas por 13 min a 90 W seguidos de 2 min a 500 W e em banho de água em ebulição. Os resultados indicaram

que a resina quando polimerizada em microondas apresentou maior sorção de água ($34,7 \text{ mg} \pm 1,9$) em relação ao método em água em ebulição ($19,6 \pm 0,7 \text{ mg}$).

Honorez et al.²⁹, em 1989, observaram o efeito de três ciclos de polimerização sobre as propriedades resistência ao impacto e dureza e sobre o conteúdo de monômero residual de uma marca de resina acrílica para base protética (Lucitone 199). Os autores observaram que os espécimes que apresentaram menos brilho e menor dureza foram os que tiveram maior taxa de monômero residual. Os autores comentaram que maior quantidade de monômero residual é encontrada na resina acrílica quando a água não atinge o ponto de ebulição durante a polimerização, e que o monômero age como plastificante na resina acrílica, reduzindo as forças de atração entre as moléculas do polímero.

No ano de 1994, Cury et al.¹⁶, ao avaliarem a sorção de água em duas resinas acrílicas para base protética termopolimerizáveis convencionais (Lucitone 550 e Prothoplast Termic), uma específica para polimerização em microondas (Acron MC) e a resina quimicamente ativada Ortho-Class, constataram que esta última foi a que apresentou maior taxa de água absorvida. Os resultados foram explicados pelo fato de que, por ser uma resina autopolimerizável, possui um

coeficiente de difusão de $2,34 \times 10,0$ m/s, que é mais que o dobro daquele das resinas termopolimerizáveis.

Dogan et al.²¹, em 1995, avaliaram a absorção de água em espécimes de cinco tipos de resina acrílica de dimensões $6 \times 3 \times 0,5 \pm 0,1$ cm. Para essa análise, os espécimes foram mantidos em água destilada a $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ por 2 meses e, então foram pesados a intervalos de 15 min nas primeiras 2 horas, 30 min nas 6 horas seguintes, e depois a cada 24 horas. Os resultados demonstraram que nos primeiros 30 minutos de armazenamento em água, uma discreta redução na massa dos espécimes foi observada. Em seguida, as massas aumentaram gradualmente até que um valor constante foi atingido após 20 – 25 dias. Os autores explicaram que a perda inicial de massa dos espécimes provavelmente ocorreu pela difusão do monômero presente na superfície do espécime para a água. Ainda, os menores valores de sorção observados em alguns grupos foram justificados pelo maior tempo de polimerização que, segundo os autores, aumenta as ligações cruzadas no polímero, resultando em menos porosidade e tornando a entrada de água mais difícil.

Em 1996, Arima et al.⁵ estudaram os efeitos de agentes de ligação cruzada na sorção de água e solubilidade de resina acrílica para base protética. Foram adicionados 6 tipos de agentes de

ligação cruzada (1,4-BDMA; 1,6- HDMA; EGDMA , TMPT, DEGDMA, TriEGDMA) ao líquido (monômero metil metacrilato) em concentrações que vão de 20 a 80% (m/m), e no preparo dos espécimes a proporção pó/líquido foi de 1:0,7 em massa. Os espécimes em formato de discos (50 mm de diâmetro x 0,5 mm de espessura) foram imersos em água destilada a 37°C por 7 dias e, após esse período, foram pesados e secos em dessecador a 37°C. A sorção de água e a solubilidade foram calculadas em $\mu\text{g}.\text{mm}^{-3}$ (ISO 1567). Com a adição de tais agentes de ligação cruzada a sorção de água apresentou uma mudança significativa, pois 1,4-BDMA, 1,6-HDMA, EGDMA e TMPT diminuíram a sorção de água com o aumento das suas concentrações, enquanto DEGDMA, triEGDMA aumentaram a sorção de água significativamente com o aumento de suas concentrações ($P < 0,01$). Os autores explicaram que a densidade da ligação cruzada aumenta de acordo com a concentração de dimetacrilato, e que a adição de altas concentrações de agentes de ligação cruzada tais como 1,4-BDMA, 1,6-HDMA, EGDMA e TMPT teriam formado estruturas de cadeias fechadas de polímeros que dificultaram a sorção de água. Os autores concluíram que a natureza química dos polímeros *versus* a afinidade química da molécula de água afeta diretamente a sorção de água das resinas para base protética e que a adição de agentes de ligação cruzada à resina acrílica diminui a solubilidade com o aumento de sua concentração.

Ao estudarem uma resina acrílica para base protética reembasada com quatro diferentes materiais, Takahashi et al.⁶⁴ em 1998, observaram o efeito da sorção de água na resistência à flexão no limite proporcional. Os autores estabeleceram a hipótese de que a água absorvida no material de base ou na resina de reembasamento afetaria a resistência mecânica da prótese reembasada. Ainda, sugeriram que a espessura do material reembasador afetaria o tempo requerido para absorção de água, e conseqüentemente afetaria a resistência da prótese reembasada. Os autores concluíram que o efeito plastificante causado pelas moléculas de água absorvidas explica a redução da resistência dos espécimes. Os autores ainda observaram que, em geral, o aumento da espessura do material reembasador de 0,5 para 1,5 mm também reduziu a resistência dos espécimes reembasados.

Cucci et al.¹⁵, em 1998, investigaram a sorção de água, solubilidade, e resistência de união de três marcas de resinas acrílicas: Duraliner II, Kooliner e Lucitone 550, sendo as duas primeiras autopolimerizáveis e próprias para reembasamento, e a última polimerizada em banho de água e própria para confecção de bases protéticas. Os resultados de sorção de água mostraram que a resina Duraliner II foi a que apresentou os menores resultados em relação aos outros materiais testados. Os autores explicaram que a maior quantidade de monômero indicada na proporção pó/ líquido dessa resina, resultaria

em maior quantidade de monômero residual, e poderia ter influenciado na sorção de água reduzida. Os autores ainda concluíram que a solubilidade foi estatisticamente semelhante para as três resinas acrílicas avaliadas e que a combinação Lucitone 550/ Kooliner foi a que apresentou os menores resultados de resistência de união.

Duymus, Yanikoglu²², em 2004, estudaram a influência da espessura e do método de polimerização sobre a alteração dimensional linear e a sorção de água em uma resina para base protética. Os autores utilizaram corpos-de-prova (65 mm x 10 mm) confeccionados com a resina acrílica QC 20 em três espessuras (1,5; 3,0 e 4,5 mm), polimerizada em dois ciclos de polimerização: longo (8 horas a 71,1°C e mais 30 min a 100°C) e curto (1,5 horas a 71,1°C e mais 30 min a 100°C). Os corpos-de-prova foram armazenados em água destilada a 37°C por 24 horas, 1 semana e 4 semanas. Para avaliar a sorção de água, imediatamente após esses períodos de armazenamento, os corpos-de-prova foram pesados em balança eletrônica de precisão (0,001g), e em seguida armazenados em dessecador contendo sílica gel a 37°C. Regularmente, esses corpos-de-prova foram pesados até atingirem uma massa constante, e essa perda de massa representou a sorção de água. Os autores concluíram que os corpos-de-prova polimerizados no ciclo curto e armazenados em água por 30 dias apresentaram a maior alteração dimensional linear, no entanto, a espessura não influenciou

nessa propriedade. Os métodos de processamento e a espessura da resina acrílica foram estatisticamente significantes na sorção de água, sendo que os espécimes de resina acrílica de 4,5 mm apresentaram logo após o processamento maior sorção de água do que os espécimes de 1,5 mm e 3,0 mm. Ainda, a sorção de água foi maior nos espécimes polimerizados no ciclo de polimerização curto.

A sorção de água e a solubilidade de materiais reembasadores macios ou “*soft*” foram propriedades estudadas por Yanikoglu, Duymus⁶⁸ em 2004. Foram avaliados cinco tipos de materiais armazenados em diferentes soluções (água destilada, saliva artificial e solução para limpeza de prótese) e analisados em regulares intervalos de tempo (1, 4 e 16 semanas). Os valores de solubilidade e sorção foram mensurados a partir da diferença de massa dos espécimes antes e após o armazenamento nas diferentes soluções e expressos em porcentagem. Os resultados mostraram que quatro das cinco resinas avaliadas apresentaram maior solubilidade em saliva artificial. Ainda, para todos os materiais testados, a sorção de água foi maior quando os espécimes foram armazenados em água destilada. A menor sorção encontrada nos espécimes armazenados em saliva artificial foi explicada em termos da diferença de concentração iônica entre a solução de saliva artificial e o polímero. A maior concentração iônica da saliva em relação ao polímero

resultaria em menor pressão osmótica e, portanto, menor sorção da saliva pela resina.

Arikan et al.⁴, em 2005, compararam *in vitro* a sorção de água e a solubilidade de dois materiais para base protética a base de acetato. Esse material tem sido utilizado como alternativa para confecção de bases protéticas desde 1986 e tem sido estudado por sua biocompatibilidade, além de propriedades mecânicas superiores em relação às resinas acrílicas para base protética convencional. Para tal estudo foram usadas resina acetato branca (WA) e rosa (PA) e a resina convencional termopolimerizável para base protética que contém poli (metil metacrilato) (PMMA). As resinas foram proporcionadas e manipuladas de acordo com as instruções dos respectivos fabricantes. Os espécimes em formato de disco foram mantidos em dessecador a $37\pm 1^{\circ}\text{C}$ por $23\pm 1\text{h}$ e pesados em balança eletrônica em intervalos regulares, até atingir-se uma massa constante. Os espécimes foram então imersos em água destilada a $37\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 7 dias, quando foram pesados para que a sorção de água e a solubilidade fossem calculadas e expressas em $\mu\text{g}/\text{mm}^3$. A resina PA mostrou significativamente menor sorção de água, e a resina PMMA foi a que mostrou a maior solubilidade. Os autores explicaram que a presença de fibras coloridas em sua estrutura pode ter reduzido a absorção de água na resina acetato rosa. Os autores concluíram que a sorção de água e a solubilidade das resinas estudadas

são relativamente pequenas e dentro da especificação limite da ISO ($32\mu\text{g}/\text{mm}^3$ e $1,6\mu\text{g}/\text{mm}^3$).

Em 2005, a estabilidade dimensional de bases protéticas confeccionadas em resina acrílica após armazenamento em água foi avaliada por Monfrin et al.⁴³. Nesse estudo, os autores utilizaram 10 tipos de resina acrílica para base protética e variaram também o tipo de técnica de confecção das bases: por compressão ou por injeção da resina acrílica. As mensurações para determinação das alterações dimensionais foram realizadas antes e após 42 dias de armazenamento das bases em água a temperatura ambiente. Diante dos resultados, os autores constataram que após o armazenamento em água, alterações dimensionais foram notadas, independente do tipo de resina acrílica e da técnica utilizada na confecção das bases.

Blasi et al.⁸, em 2005, estudaram o efeito plastificante da água no polímero PLGA poly (lactide-co-glycolide), um polímero utilizado no revestimento de cápsulas na indústria farmacêutica. As amostras do PLGA foram armazenadas em soluções salinas saturadas sob diferentes condições de umidade relativa (MgCl_2 : 32%, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$: 50%, NaCl : 75%, KNO_3 : 90%). Os autores observaram que a T_g das amostras após armazenamento nas diferentes soluções foi reduzida proporcionalmente à umidade e ao conteúdo de água absorvida, isto é,

com o aumento da umidade, maior o conteúdo de água absorvida e maior foi a redução da Tg. Para os autores, foi confirmado o potente efeito plastificante da água, considerando que o PLGA é um polímero hidrofóbico. As amostras armazenadas em 90% de umidade tiveram a Tg reduzida para $28,8 \pm 0,5$ °C. Na prática, a diminuição da Tg do polímero abaixo da temperatura corpórea deve ser considerada, pois, segundo os autores, isso pode ter influência nas propriedades do polímero considerando sua utilização na indústria de medicamentos.

Meloto et al.⁴¹ em 2006, ao estudarem sorção de água em dois tipos de resina acrílica para base protética (Vipi Cril – termopolimerizável convencional; e Vipi Wave – específica para polimerização em microondas), avaliaram a influência do processamento dessas resinas em muflas mono ou bimaxilares. Três grupos foram formados: Grupo 1 – 10 espécimes de resina Vipi Cril polimerizada em muflas monomaxilares metálicas; Grupo 2 – 20 espécimes de resina Vipi Wave polimerizada em muflas bimaxilares de PVC; Grupo 3 – 20 espécimes de resina Vipi Cril polimerizados em muflas bimaxilares metálicas. Os ciclos de polimerização utilizados foram: banho de água a 73°C por 9h; e microondas 20 min a 90 W mais 5 min a 450 W. Não houve diferença estatística entre os grupos 1 e 2, no entanto, o grupo 3 apresentou os menores valores de sorção (teste *t* de Student a 5% de significância). Os autores explicaram que a maior quantidade de gesso na

mufla bimaxilar pode ter prejudicado a distribuição do calor proveniente da polimerização e, ainda, o calor fornecido pelo banho de água pode não ter sido suficiente para promover adequada polimerização, resultando em monômero residual. Segundo os autores, a presença de monômero residual pode ter interferido na sorção de água já que o monômero ocupou os espaços na massa polimerizada que seriam ocupados pela água absorvida.

Duymus, Yanikoglu²³, em 2006, avaliaram, entre outras propriedades, a sorção de água em dois materiais para base protética autopolimerizáveis (Major repair acrylic e QC-repair acrylic) e cinco termopolimerizáveis convencionais (QC-20, Rodex, Superacryl E, Fortex e Real acryl). A resina Major repair acrylic apresentou valores de sorção de água estatisticamente inferiores às demais resinas acrílicas avaliadas ($p < 0,01$). Os autores atribuíram esse resultado ao alto conteúdo de monômero residual característico para esse tipo de resina.

Dhir et al.²⁰, em 2007, avaliaram as propriedades físicas de uma resina acrílica para base protética (Lucitone 199) modificada por um monômero experimental com diferentes concentrações de fosfato (10% e 20%). Os autores formularam a hipótese de que a adição de fosfato na resina acrílica para base protética poderia inibir a adesão de *Candida albicans*. Foram avaliados o módulo e resistência

flexural, sorção e solubilidade em água, estabilidade de cor e manchamento. Os autores verificaram que houve uma diminuição estatisticamente significativa no módulo e resistência flexural e significativo aumento na sorção de água após a adição deste produto. Entretanto, nenhuma diferença estatisticamente significativa foi encontrada em relação à solubilidade em água, estabilidade de cor e manchamento. Apesar do aumento da sorção de água, foi observada uma diminuição do coeficiente de difusão com a adição do fosfato à resina. A partir desses resultados preliminares, os autores concluíram que a resina modificada com 10% de fosfato apresenta as propriedades físicas requeridas e seria a mais indicada para o uso.

Para finalizar, gostaríamos de destacar que a maioria dos estudos revisados nesse capítulo realiza a avaliação da porosidade por meio da sorção dos espécimes de resina acrílica em água destilada pura. Dessa forma, constatamos que a maioria dos trabalhos revisados na literatura que aborda esse tema não consideram o efeito da água como um plastificante da estrutura do polímero, efeito este que é bem estabelecido e comprovado em diversos estudos, o que também foi documentado nesse capítulo.

Acreditamos que a presente revisão de literatura enfatiza a necessidade de validação do método de análise da porosidade por meio da sorção de água através de uma metodologia que considere o

efeito da água como um plastificante da estrutura do polímero, o que justifica e dá suporte científico para o desenvolvimento de nosso trabalho.

Proposição

O objetivo do presente trabalho foi:

1. Validar o método de análise da porosidade por meio de sorção de água em duas resinas acrílicas para base protética por meio da determinação de uma solução adequada de armazenamento dos espécimes (aw ótima).
2. Para cada resina estudada, verificar a influência do formato do espécime nos valores de fator de porosidade (FP) entre os grupos armazenados nas aw ótimas e em água destilada pura.
3. Verificar se a comparação entre os valores de coeficiente de difusão (D) determinados para cada resina nas aw ótimas em relação à água destilada pura corrobora para nossa proposta de validação do método.

Material e método

1 Material

O material e equipamentos utilizados nessa pesquisa encontram-se nos Quadros 1 e 2, respectivamente.

Quadro 1- Material, respectivo nome comercial e fabricante

MATERIAL	NOME COMERCIAL	FABRICANTE
Silicone industrial	RTV - 3120	Reforplás Ind Com Ltda
Resina acrílica termopolimerizável	Clássico	Artigos Odontológicos Clássico Ltda
Resina acrílica termopolimerizável	Acron MC	GC Lab Technologies Inc
Gesso pedra especial (tipo IV)	Herostone	Vigodent S/A
Gesso pedra (tipo III)	Herodent	Vigodent S/A
Cuba para espatulação	Cuba para espatulação mecânica	Polidental Ind. e Com. Ltda
Mufla para microondas	Onda-Cryl	Artigos Odontológicos Clássico Ltda
Mufla metálica	DCL nº 6	Dentária Campineira Ltda
Isolante para resina acrílica	Cel-Lac	SS White Artigos Dentários Ltda
Cera nº 7	Cera rosa nº 7 Wilson	Polidental Ind. e Com. Ltda
Vaselina sólida	Vaselina sólida	Miyako do Brasil Ind. e Com. Ltda
Lixas para acabamento	Norton	Norton Indústria Brasileira
Sílica gel	Sílica gel azul ¼ mm P.A.	Labsynth Produtos para laboratório Ltda
Cloreto de cálcio anidro	Cloreto de cálcio anidro para dessecador	Labsynth Produtos para laboratório Ltda

Quadro 2 - Equipamento, respectivo nome comercial e fabricante

EQUIPAMENTO	NOME COMERCIAL	FABRICANTE
Forno de microondas	Continental AW-30	Bosh Eletrodomésticos
Termopolimerizadora automática	Termopolimerizadora Solab	Solab Equipamentos para laboratórios Ltda – Piracicaba - SP
Estufa de cultura	Estufa Orion 502	Fanem Ltda – São Paulo - SP
Prensa hidráulica	Delta	Delta Máquinas Especiais
Espatulador mecânico	Polidental	Polidental Ind. e Com. Ltda
Martelete pneumático	Martelete pneumático com arco de serra	VH Equipamentos Médico – Odontológicos e Acessórios Ltda. – Araraquara - SP
Balança de precisão	Balança modelo AB 204-S	Mettler Toledo Indústria e Comércio
Balança eletrônica	Gehaka BG-400	Ind. e Com. Eletro-Eletrônica Gehaka Ltda – São Paulo
Espressímetro	Espressímetro	Golgran Indústria Brasileira
Máquina politriz	Aropol 2V	Arotec S/ A Indústria e Comércio – Cotia - SP
Dessecador	Dessecador 250 mm	Hexis Científica Ltda

2 Método

A validação do método de análise da porosidade, por meio da sorção de água, foi realizada para uma resina acrílica polimerizada em banho de água quente e para uma resina acrílica polimerizada por meio de energia de microondas considerando-se dois formatos do espécime (formato base protética e formato ISO) com o objetivo de se determinar a atividade de água ótima (a_w ótima) de armazenamento dos espécimes onde o fator de porosidade a ser determinado não venha a sofrer influência do efeito plastificante da água

no interior da resina acrílica. Para isso, 16 grupos experimentais (Tabela 1) foram determinados.

Foram ainda calculados o coeficiente de difusão da água (D) e o fator de porosidade (FP) nos grupos onde foi determinada a condição adequada de armazenamento dos espécimes (a_w ótima) e na água destilada pura, o que permite correlacionar D e FP.

As diferentes soluções de armazenamento em água dos espécimes (Quadro 3) corresponderam a valores de atividade de água distintos, de acordo com Blasi et al.⁸, Kalachandra, Turner³⁴ e Smith, Schmitz⁶⁰.

Quadro 3 - Soluções de armazenamento utilizadas no estudo

Atividade de água (a_w)	Descrição
0,25	93,5 g de cloreto de cálcio anidro em 100g de água destilada
0,50	55g de cloreto de cálcio anidro em 100g de água destilada
0,75	33g de cloreto de cálcio anidro em 100g de água destilada
1	água destilada pura

Tabela 1- Grupos experimentais

Grupo/ Resina acrílica			
Acron MC	Clássico	Formato do espécime	Valores de atividade de água (aw)
1	5	Base protética	0,25
2	6	Base protética	0,50
3	7	Base protética	0,75
4	8	Base protética	1
9	13	ISO/FDIS-1567	0,25
10	14	ISO/FDIS-1567	0,50
11	15	ISO/FDIS-1567	0,75
12	16	ISO/FDIS-1567	1

FORMATO DOS ESPÉCIMES

Os espécimes dos Grupos 1 a 8 (formato base protética) foram obtidos a partir de uma base de prova encerada em um modelo superior desdentado total⁴⁹. Já os espécimes correspondentes aos Grupos 9 a 16 (formato ISO) foram obtidos a partir de um padrão metálico com medidas baseadas nas especificações da International Organization for Standardization (ISO/FDIS-1567) para avaliação da porosidade em bases poliméricas de próteses³¹.

1 CONFEÇÃO DOS ESPÉCIMES EM FORMATO DE BASE PROTÉTICA

1.1 OBTENÇÃO DOS MODELOS SUPERIORES

Para uma padronização, os modelos superiores foram obtidos a partir de um molde confeccionado em silicone industrial RTV ⁴⁹ (Figura 1A) de um modelo padrão utilizado no ensino pré-clínico de Graduação e Pós-graduação da Disciplina de Prótese Total da Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP. Esse molde foi vazado com gesso pedra tipo IV espatulado mecanicamente com proporção água/pó constante de 22 ml/ 100g. (Figura 1B).

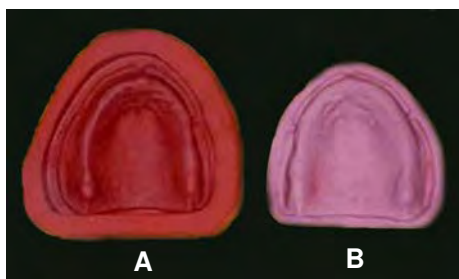


FIGURA 1- A – Molde de silicone RTV para obtenção do modelo de gesso;
B – Modelo de gesso.

Após a presa do gesso, o modelo foi retirado do molde de silicone e sua base foi aplainada.

1.2 OBTENÇÃO DAS BASES PROTÉTICAS ENCERADAS

Os espécimes dos GRUPOS 1 a 8 corresponderam a uma base de prótese total superior sem os dentes artificiais, na espessura de 3,5 mm.

Para a padronização desses espécimes foram necessários alguns procedimentos técnicos, citados a seguir:

- confecção de 01 modelo superior
- enceramento nesse modelo da base da prótese, na espessura de 3,5 mm. A espessura desta base foi controlada em toda a sua extensão com auxílio de uma sonda milimetrada (Figura 2).



FIGURA 2 - Controle da espessura da base da prótese no padrão em cera.

A partir do conjunto modelo mais base da prótese encerada foi obtido uma matriz confeccionada em silicone industrial RTV para a confecção dos espécimes em cera.

Para a obtenção de cada base protética encerada, duas lâminas de cera rosa nº 7 liquefeitas foram vertidas no interior da matriz de silicone (Figura 3A). A cera foi liquefeita num recipiente metálico em estufa a 60°C e vertida dentro da matriz de silicone. Em seguida, o

modelo de gesso superior foi imediatamente alojado sobre a matriz (Figura 3B), aguardando-se um período de 30 minutos para resfriamento. Assim, foi possível obter a base protética encerada na espessura desejada (Figura 3C).

Esse procedimento foi repetido para a obtenção de todos os espécimes referentes aos Grupos 1 a 8. Dessa forma, a obtenção dos espécimes, por meio da matriz de silicone, proporcionou uma padronização da espessura da base protética de 3,5 mm.



FIGURA 3 - A- Cera vertida na matriz de silicone; B- modelo de gesso posicionado na matriz de silicone; C- base protética encerada.

1.3 INCLUSÃO

Cada base protética encerada foi incluída em mufla específica para cada ciclo de polimerização, em três camadas, utilizando-se gesso pedra tipo III espatulado mecanicamente e respeitando-se as devidas proporções água/pó (30 ml / 100 g)⁴⁹.

1.4 ELIMINAÇÃO DE CERA

A eliminação da cera da base protética incluída em mufla para microondas foi realizada em duas etapas. A primeira etapa foi realizada no próprio forno de microondas com o aquecimento da mufla por 1 minuto à potência máxima (800 W). Na segunda etapa, após a abertura da mufla, a cera foi removida com água fervente para eliminação dos excessos remanescentes e o todo o gesso foi limpo com detergente⁴⁹. A Figura 4 mostra a mufla aberta após a remoção completa da cera.



FIGURA 4 - Mufla aberta após a remoção completa da cera.

Já a eliminação de cera dos espécimes incluídos em mufla metálica foi realizada deixando-se a mufla imersa em água fervente por cerca de 15 minutos, sendo esta posteriormente aberta e os resíduos de cera eliminados também com água fervente e a limpeza do gesso com detergente⁴⁹.

O isolamento do gesso da mufla e contra-mufla foi realizado com isolante para resina acrílica Cel-Lac e, em seguida, a resina acrílica foi prensada.

2 CONFEÇÃO DOS ESPÉCIMES EM FORMATO ISO/FDIS-1567³¹

Os espécimes dos Grupos 9 a 16 foram obtidos a partir de um padrão metálico com as seguintes dimensões: 67mm x 12mm x 5,3mm (Figura 5A). Estas medidas são superiores às recomendadas pela ISO/FDIS 1567 para o ensaio de porosidade: 65mm x 10mm x 3,3mm (Figura 5B), para possibilitar o acabamento e o desgaste dos espécimes em resina acrílica, com lixas de diferentes granulações e atingir, assim, as dimensões recomendadas⁴⁹.

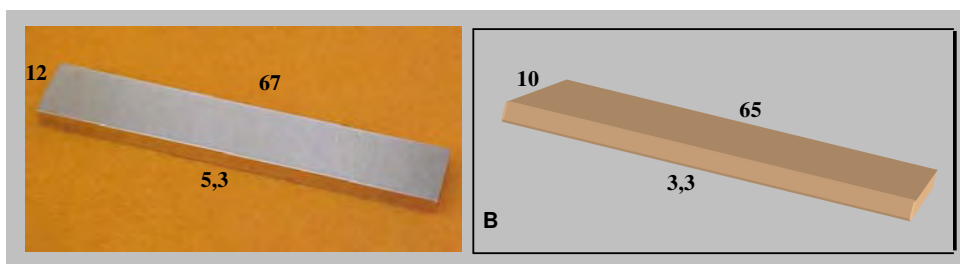


FIGURA 5 - A- Padrão metálico para obtenção dos espécimes em resina acrílica; B- Medidas recomendadas pela ISO, em milímetros, do espécime para o ensaio de porosidade.

2.1 INCLUSÃO

Para facilitar a remoção do padrão metálico após a inclusão, o mesmo foi envolvido individualmente em silicone para inclusão. Uma matriz de madeira (Figura 6) foi utilizada para se obter uma

quantidade padrão de silicone para todas as inclusões e uma correta moldagem do padrão metálico⁴⁹.



FIGURA 6 - Matriz de madeira utilizada para inclusão do padrão metálico em silicone.

O padrão metálico foi posicionado no interior dessa matriz e o silicone foi corretamente acomodado sobre o mesmo. Então, esse conjunto foi levado a uma prensa hidráulica e mantido sob carga de 0,5 tonelada até a polimerização completa do silicone e obtenção do conjunto silicone/ padrão metálico (Figura 7).



FIGURA 7 - Conjunto silicone/ padrão metálico após completa polimerização do silicone e remoção da matriz de madeira.

Em seguida, esse conjunto foi incluído individualmente em mufla específica para cada ciclo de polimerização, em três camadas, utilizando-se gesso pedra tipo III (Figura 8), espatulado

mecanicamente e respeitando-se as devidas proporções água/pó (30 ml / 100 g)⁴⁹.



FIGURA 8 - Padrão metálico incluído em mufla.

3 PRENSAGEM

A proporção em volume pó/liquido para as duas resinas acrílicas utilizadas seguiu as especificações dos respectivos fabricantes, sendo o pó pesado em balança de precisão eletrônica e o liquido medido com auxílio de uma pipeta. A resina foi manipulada em um pote de vidro com tampa e condensada no interior do molde durante a fase plástica, tanto para os espécimes em formato ISO/FDIS 1567 (Figura 9), como para os espécimes em formato de base protética.



FIGURA 9 - Condensação da resina acrílica na fase plástica no interior do molde de silicone para obtenção do espécime em formato ISO/FDIS 1567.

A prensagem da resina acrílica para obtenção de ambos os espécimes (tanto no formato de base protética como no formato ISO/FDIS 1567) foi realizada em uma prensa hidráulica, de maneira lenta e gradual, em duas etapas.

Inicialmente, foi realizada a prensagem de prova utilizando-se uma folha de papel celofane umedecida interposta entre a mufla e a contra-mufla, conforme preconiza Rudd⁵⁵. Esta prensagem foi realizada até atingir-se 0,5 ton., para que ocorresse uma acomodação inicial da resina acrílica e escoamento dos excessos. A mufla foi aberta em seguida, removeu-se o celofane e os excessos de resina foram recortados com um buril de Le Cron para posterior prensagem final (Figura 10). A Figura 10 representa esse procedimento realizado para todos os espécimes em formato de base protética. De maneira similar, tal procedimento também foi realizado para os espécimes em formato ISO/FDIS 1567.

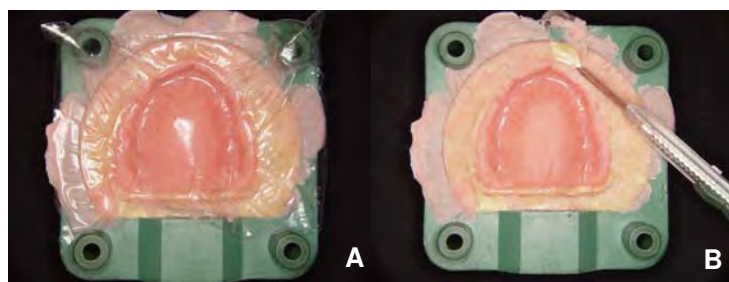


FIGURA 10 - A- Resina acrílica após prensagem de prova e abertura da mufla, utilizando-se papel celofane; B- recorte dos excessos de resina acrílica após a remoção do celofane.

Os valores da prensagem final para as muflas de microondas e metálica seguiram as recomendações do fabricante. Para cada valor de pressão foi aguardado o tempo necessário até que ocorresse a estabilização do ponteiro da prensa. Um período de 30 minutos foi aguardado correspondente à prensagem final e, então, as muflas foram fechadas com parafusos próprios.

4 POLIMERIZAÇÃO

Os espécimes foram obtidos por meio de polimerização individual, após a prensagem final, de acordo com os ciclos descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Resinas acrílicas utilizadas no estudo

Resina acrílica	Fabricante	Lote	Método de polimerização	Ciclo de polimerização
Acron MC	GC Lab Technologies, Inc. – Alsip, Illinois, EUA.	0510121	Microondas	3 min a 500 W *
Clássico	Artigos Odontológicos Clássico Ltda	327040	Banho de água quente	9 horas a 74°C ⁴⁹

* Ciclo recomendado pelo fabricante da resina Acron MC.

Para a polimerização da resina específica para microondas, foi utilizado um forno de microondas caseiro da marca Continental, modelo AW-30 (Figura 11). Considerando que a potência máxima desse forno de microondas é de 800W, a potência e o tempo foram adequados para 3 minutos e 8 segundos a 480W, o que corresponde ao ciclo de polimerização indicado pelo fabricante da resina Acron MC. Já para a resina termopolimerizável em banho de água foi utilizada uma termopolimerizadora automática da marca Solab (Figura 12).

Após a polimerização, foi aguardado um período de uma noite para o resfriamento da mufla sobre bancada⁴⁹, antes do processo de desinclusão dos espécimes.



FIGURA 11. Forno de microondas.



FIGURA 12. Termopolimerizadora automática.

5 DESINCLUSÃO E ACABAMENTO

O conjunto modelo/ base da prótese superior acrilizada foi desincluído com auxílio de um martetele pneumático da marca VH. A base da prótese superior foi removida do modelo de gesso e foi dado acabamento inicialmente com uma ponta do tipo Maxicut, para remoção dos excessos de resina acrílica mais grosseiros (Figura 13 A). Em seguida, foram utilizadas tiras de lixa fixadas a um mandril em baixa rotação (Figura 13 B) e, ainda, um acabamento mais refinado foi realizado em torno de polimento em duas etapas. Na primeira etapa, foi utilizada escova de feltro e pedra pomes; em seguida, uma escova de cerdas macias e branco de espanha foram utilizados para dar brilho final aos espécimes (Figuras 14 A-B). O aspecto final do espécime após acabamento e polimento dados na sua superfície externa está ilustrado na Figura 15.

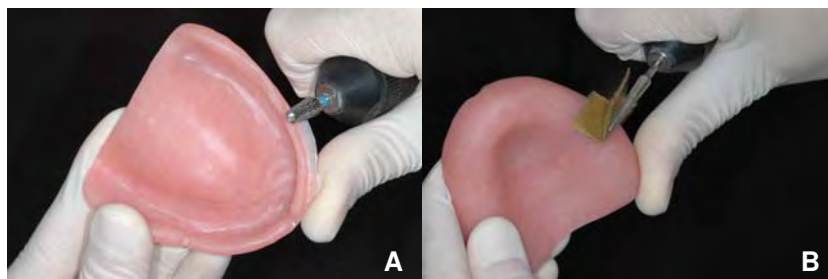


FIGURA 13 - A- Acabamento do espécime em formato de base protética com fresa Maxicut; B- acabamento do espécime com tira de lixa fixada a um mandril em baixa rotação.

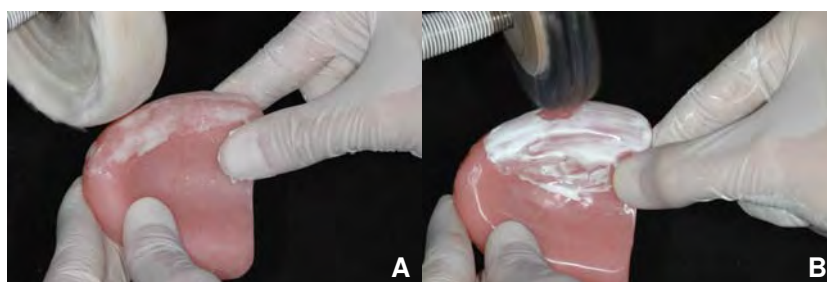


FIGURA 14 - Acabamento do espécime em formato de base protética em torno de polimento: A- pedra pomes e escova de feltro; B- branco de esponja e escova de cerdas macias.

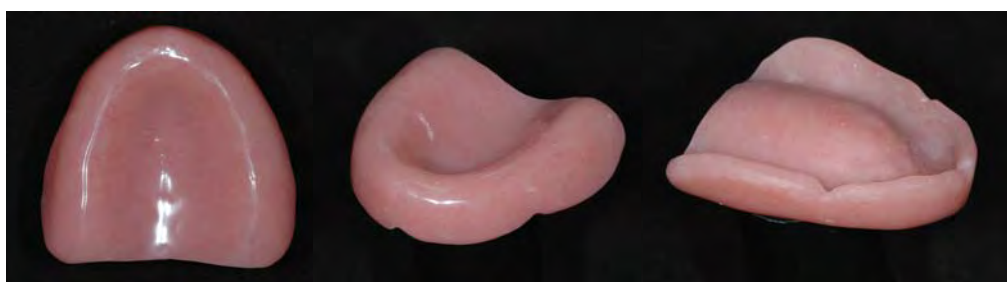


FIGURA 15 - Aspecto final do espécime em formato de base protética após acabamento e polimento.

Para a desinclusão dos espécimes no formato ISO/FDIS 1567, foi utilizada uma espátula para a remoção do espécime do interior da matriz de silicone. O acabamento desses espécimes foi realizado na máquina politriz marca Aropol. Foram utilizadas lixas d'água para acabamento com granulações de 280 e 320 para o desgaste inicial e 400 e 600 para o desgaste final dos espécimes. Para possibilitar um desgaste adequado até atingirem-se as dimensões desejadas³¹, o acabamento dos espécimes foi realizado com o auxílio de duas matrizes metálicas⁷. Uma delas permitiu o desgaste seletivo da espessura (Figura 16) e a outra realizou o desgaste tanto na largura como no comprimento do espécime (Figuras 17e 18).

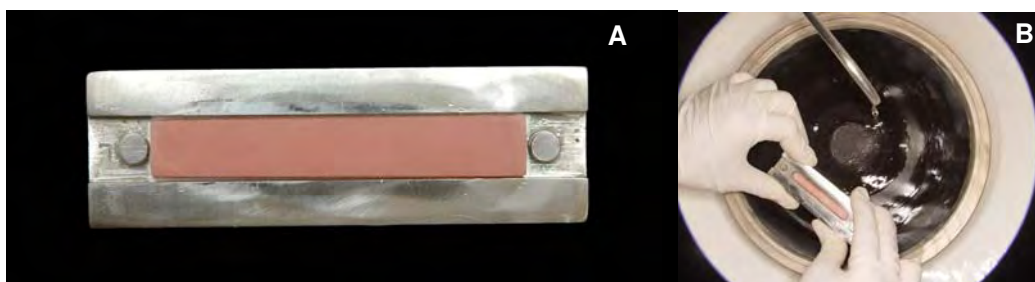


FIGURA 16 - Desgaste em espessura do espécime: A- vista superior da matriz metálica; B- realização do desgaste na politriz.

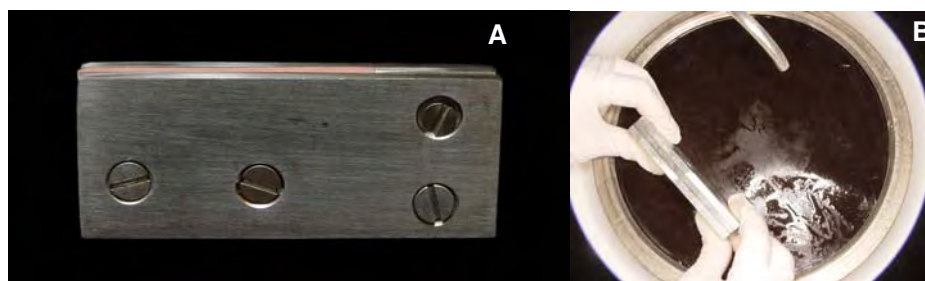


FIGURA 17 - Desgaste em largura do espécime: A- vista lateral da matriz metálica; B- realização do desgaste na politriz.

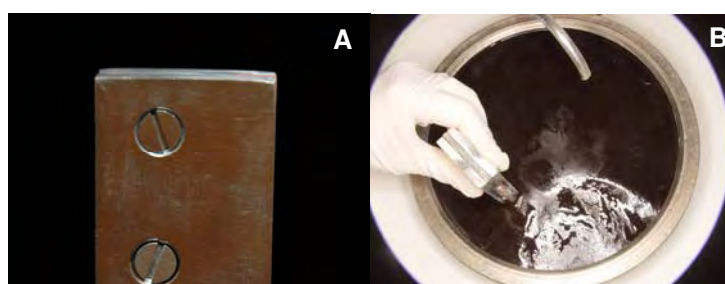


FIGURA 18 - Desgaste em comprimento do espécime: A- vista lateral da matriz metálica; B- realização do desgaste na politriz.

6 PROCEDIMENTO PARA VALIDAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DA POROSIDADE POR MEIO DA SORÇÃO DE ÁGUA

O procedimento para validar o método de análise da porosidade por meio de sorção de água com base no Princípio de Arquimedes será explicado a seguir. Para efeito didático, este procedimento foi dividido nas seguintes etapas:

6.1 DETERMINAÇÃO DO TEMPO PARA SECAGEM E SORÇÃO DE ÁGUA

As pesagens para determinação do momento de estabilização das massas foram realizadas em duas etapas experimentais, utilizando-se uma balança analítica marca Mettler Toledo, modelo AB204-S:

Etapa I: realizada durante a fase de secagem dos espécimes.

Etapa II: realizada durante a fase de sorção de água dos espécimes.

6.1.1 Etapa I de pesagens dos espécimes

Após o acabamento, os espécimes tanto em formato de base protética como no formato ISO/FDIS 1567 foram mantidos em um recipiente a vácuo hermeticamente fechado contendo sílica gel, para possibilitar a eliminação dos líquidos contidos no interior dos mesmos^{7,14,49}. A cada 24 horas, os espécimes foram pesados até que ocorresse a estabilização das massas dos mesmos. Todas as pesagens foram realizadas de maneira controlada, em temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}$ C)²³.

O registro dessas pesagens possibilitou a obtenção, para cada grupo, das respectivas curvas temporais de desorção, caracterizadas pela diminuição temporal das massas dos espécimes referente à eliminação dos líquidos presentes no interior dos mesmos. A

partir disso, num determinado momento, a massa dos espécimes tornou-se estável (equilíbrio aparente). Então, um período adicional correspondente a três vezes mais o período aparente de equilíbrio foi aguardado, seguindo-se as pesagens¹³. Se durante esse período, a massa dos espécimes permanecesse estável, o período de equilíbrio aparente seria de fato igual ao tempo mínimo para esta etapa. Caso ocorresse uma variação durante esse período, teríamos que estabelecer um novo período e a partir desse novo período esperar novamente três vezes mais o período aparente de equilíbrio.

6.1.2 Etapa II de pesagens dos espécimes

Após a determinação do momento de estabilização das massas dos espécimes após armazenamento em recipiente a vácuo, os espécimes foram então armazenados em diferentes soluções sob diferentes aw (Tabela 1) em uma estufa de cultura a $37 \pm 1^\circ \text{C}$ ³¹ e foram pesados a cada 24 horas até que ocorresse a estabilização para cada solução. Todas as pesagens foram realizadas de maneira controlada, em temperatura ambiente ($\pm 25^\circ \text{C}$)²³, sendo que para cada pesagem, o espécime era removido da solução de armazenamento e cuidadosamente seco com filtro de papel até que não houvesse umidade visível na superfície^{11,32}.

A partir do registro diário das massas dos espécimes em cada aw, num determinado momento, a massa dos mesmos tornou-se

estável (equilíbrio aparente). Então, um período adicional correspondente a três vezes mais o período aparente de equilíbrio foi aguardado, seguindo-se as pesagens¹³. Se durante esse período, a massa dos espécimes permanecesse estável, o período de equilíbrio aparente seria de fato igual ao tempo mínimo de armazenamento para esta etapa. Caso ocorresse uma variação durante esse período, teríamos que estabelecer um novo período e a partir desse novo período esperar novamente três vezes mais o período aparente de equilíbrio. Esse procedimento foi estabelecido de maneira idêntica na etapa I de pesagens dos espécimes.

A balança analítica marca Mettler Toledo, modelo AB204-S, utilizada para a determinação dessas pesagens, possui resolução de 0,0001 g. A massa dos espécimes foi considerada estável quando a variação em massa foi menor que 0,0002 g entre as sucessivas pesagens^{4,15,41}. Esse protocolo foi seguido em ambas as etapas de pesagens dos espécimes.

Com o registro diário das massas dos espécimes em cada aw, foram obtidas as respectivas curvas temporais de sorção e desorção de água.

6.2 DETERMINAÇÃO DA AW ÓTIMA

Com a obtenção das isotermas de sorção de água foi determinada a aw ótima dentro de cada condição experimental. Nessa curva, o eixo das abscissas x é representado pela atividade de água (aw), e o eixo das ordenadas y representa a porcentagem de água absorvida no equilíbrio, a saber:

$$\% \text{ de água absorvida} = \frac{M_{eq} - M_0}{M_0} \times 100$$

Onde:

M_{eq} = massa do espécime no equilíbrio após sorção de água

M_0 = massa inicial do espécime seco

Segundo Smith, Schmitz⁶⁰, no gráfico aw x % de água absorvida (isoterma de sorção), a formação de uma reta significa ausência do efeito plastificante da água no interior da resina acrílica. A partir do ponto onde se inicia uma curva (desvio positivo em relação à reta) está caracterizada a presença do efeito plastificante da água no interior da resina acrílica. A Figura 19 ilustra esquematicamente o ponto onde o efeito plastificante da água passa a existir em uma resina acrílica. A partir dessas considerações, para a determinação da aw ótima, foi considerado no gráfico aw x % de água absorvida o ponto onde se inicia

uma curva, o qual foi projetado no eixo das abscissas x de forma que o ponto coincidente representou a a_w ótima.

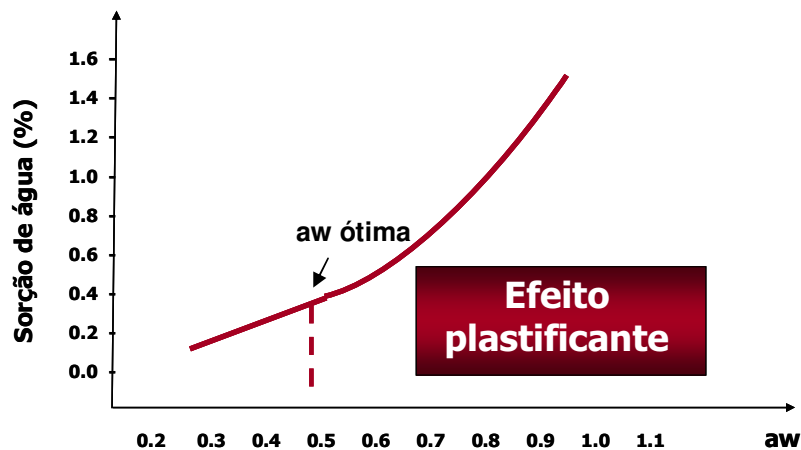


FIGURA 19. Representação esquemática do ponto onde o efeito plastificante da água passa a existir em uma resina acrílica.

6.3 CÁLCULO DO COEFICIENTE DE DIFUSÃO (D)

O coeficiente de difusão da água (D) foi calculado somente nos grupos dentro da condição experimental de a_w ótima e na água pura.

O cálculo de D foi feito a partir da resolução da equação de Fick^{11,38}, com base na curva temporal de desorção:

$$\text{Equação de Fick: } \delta c / \delta t = - D \delta^2 c / \delta x^2$$

A fórmula matemática descrita acima indica que o fluxo de água penetrante na resina acrílica ($\delta c / \delta t$) deve ser proporcional à

variação da concentração de água ao longo da espessura do espécime, na qual a água difundirá. A constante de proporcionalidade (D) é denominada coeficiente de difusão e fisicamente é um parâmetro que mede, neste caso, a velocidade de transporte da água para o interior do espécime considerando a concentração da solução de armazenamento e a espessura constantes.

Uma solução matemática particular desta equação e adequada especificamente para as geometrias de amostras que serão estudadas neste trabalho, resulta em:

$$M_t / M_{eq} = (D/\pi L^2)^{1/2},$$

Onde M_t é a massa de água absorvida pela amostra num tempo genérico t , M_{eq} é a massa de água absorvida no tempo correspondente ao equilíbrio, D é o coeficiente de difusão, e L a espessura da amostra. Detalhes do desenvolvimento matemático desta expressão podem ser encontrados em Crank¹³.

Com base no trabalho de Labarre, Turner³⁸ definir-se-á com base nas medidas de massa seguindo o Princípio de Arquimedes a seguinte expressão para representar a fração de água absorvida em microporos, após diferentes períodos de imersão nas diferentes soluções de estudo:

$$\text{Fração de água em microporos} = (W_{w,t} - W_{w,o}) / (W_{a,t} - W_{a,o})$$

Onde $W_{w,t}$ e $W_{w,o}$ correspondem respectivamente às massas das amostras mergulhadas nas diferentes soluções de estudo nos tempos genérico t e inicial (zero). As variáveis $W_{a,t}$ e $W_{a,o}$ correspondem às massas das amostras pesadas no ar imediatamente após a sua pesagem mergulhada nas diferentes soluções, também no tempo genérico t e inicial (zero).

Para a determinação do D considerar-se-á que:

$$M_t/M_{eq} = (W_{w,t} - W_{w,o}) / (W_{a,t} - W_{a,o})$$

Então, a partir da região linear da representação gráfica de M_t/M_{eq} versus $t^{1/2}/L$, o coeficiente angular (δ) pôde ser determinado e finalmente calculado o D , que foi estimado pela relação¹¹:

$$D = \frac{\pi \times (\delta)^2}{16}$$

Para cada grupo dentro das condições experimentais de aw ótima e água destilada pura, foi calculado o valor médio do D a partir da representação gráfica de M_t/M_{eq} versus $t^{1/2}/L$ ^{11,20,62}, sendo que foi obtido um gráfico para cada espécime de cada grupo. Nesse gráfico, o

eixo das abscissas x é representado por $t^{1/2}/L$ e o eixo das ordenadas y por Mt/M_{eq} , sendo que:

t = tempo em segundos;

L = espessura do espécime em centímetros (0,33 cm para ISO e 0,35 cm para base);

Mt = massa do espécime no tempo t ;

M_{eq} = massa do espécime no equilíbrio (após sorção).

Os dados obtidos para a construção dos gráficos Mt/M_{eq} versus $t^{1/2}/L$ estão no capítulo Anexos. Esses gráficos foram obtidos a partir de dados de desorção^{11,34} dos espécimes saturados nas condições de armazenamento ótima e água pura, sendo que os mesmos foram pesados em intervalos de tempo regulares (30s, 1 min, 2 min, 3 min, 4 min, 5 min, 10 min, 20 min, 30 min), em balança analítica marca Mettler Toledo, modelo AB204-S, sob condições de temperatura controlada ($\pm 25^\circ \text{C}$)²³.

O D foi calculado a partir do valor do coeficiente angular da reta formada no gráfico. Esse coeficiente angular foi determinado para cada espécime dentro das condições experimentais de a_w ótima e água destilada pura. A Figura 20 ilustra o procedimento realizado para a obtenção do D para um dos espécimes. Para esse procedimento, o software *Origin* versão 6.1 foi utilizado.

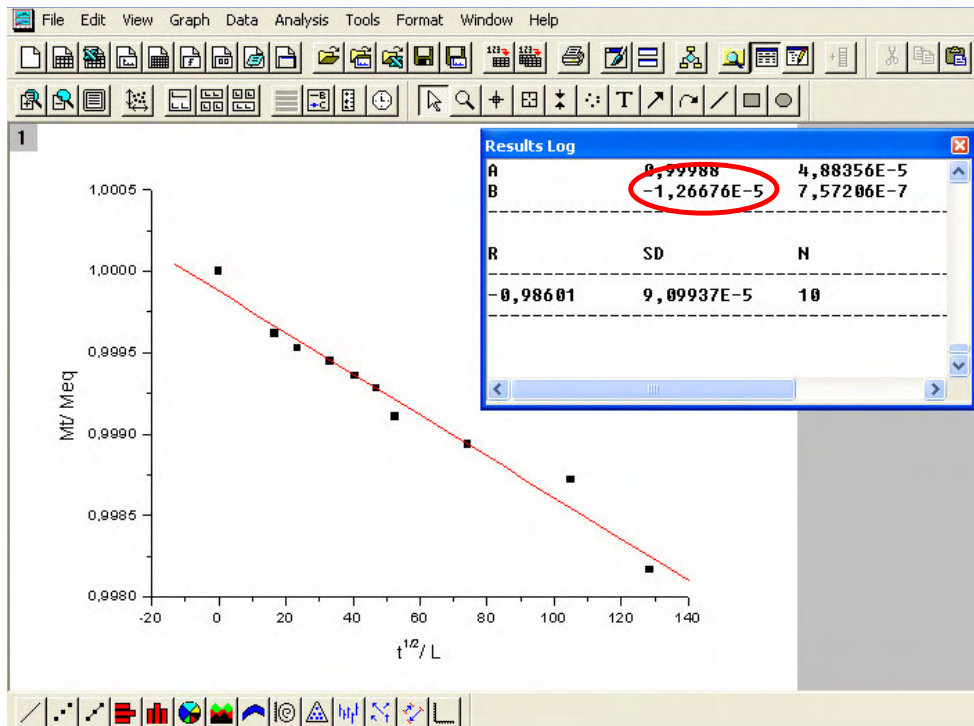


FIGURA 20 - Gráfico representativo para o cálculo do D para um dos espécimes, obtido a partir do software *Origin versão 6.1*. O valor em destaque ($1,26676 \times 10^{-5}$) representa o coeficiente angular da reta formada.

A partir do cálculo do coeficiente angular em cada espécime dentro das condições experimentais de aw ótima e água destilada pura, a equação $D = \pi \times (\delta)^2 / 16^{11}$ foi aplicada e foram então obtidos os D para cada um dos espécimes desses grupos. A partir daí, um valor médio de D foi obtido para cada grupo de aw ótima e água pura.

6.4 CÁLCULO DO FATOR DE POROSIDADE (FP)

Para determinar a relação entre o FP e o D, o FP foi mensurado somente nos grupos dentro das condições de a_w ótima e na água destilada pura.

A metodologia utilizada para o cálculo do FP seguiu os trabalhos de Bafile et al.⁶, Barbosa⁷, Compagnoni et al.¹⁴ e Pero et al.⁴⁹. Nesse método de avaliação da porosidade por meio de sorção de água, foram realizadas duas etapas de pesagem: uma pesagem inicial, que foi obtida com o espécime seco, e outra final, com o espécime úmido, após o armazenamento na solução cuja a_w foi previamente determinada como ótima (a_w ótima) e também dentro da condição de armazenamento em água destilada pura.

Na primeira etapa experimental, o espécime foi pesado após a extração dos líquidos presentes na resina acrílica por meio de um recipiente a vácuo contendo sílica gel, onde foi dado vácuo por 15 minutos (espécime seco). Na segunda etapa, o espécime também foi pesado após ter sido acondicionado na solução de a_w ótima e na água pura (espécime úmido). O registro das pesagens tanto para o espécime seco como para o espécime úmido foi realizado no momento em que atingiu-se massa estável, que foi determinado na primeira fase desse trabalho.

Essa análise da porosidade é baseada no Princípio de Arquimedes e, para isso, em cada condição experimental (espécime seco e espécime úmido) uma pesagem adicional foi realizada com o espécime imediatamente imerso na água (Figuras 21 e 22). Todas as pesagens foram realizadas de maneira controlada, em temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$)²³ sendo que, após a remoção do espécime da solução de armazenamento, o mesmo foi cuidadosamente seco com filtro de papel até que não houvesse umidade visível na superfície^{11,32}. A diferença entre os volumes do espécime seco e do espécime úmido corresponde ao FP na resina acrílica.



FIGURA 21 - A- Pesagem do espécime formato ISO no ar; B- Pesagem do espécime na água.

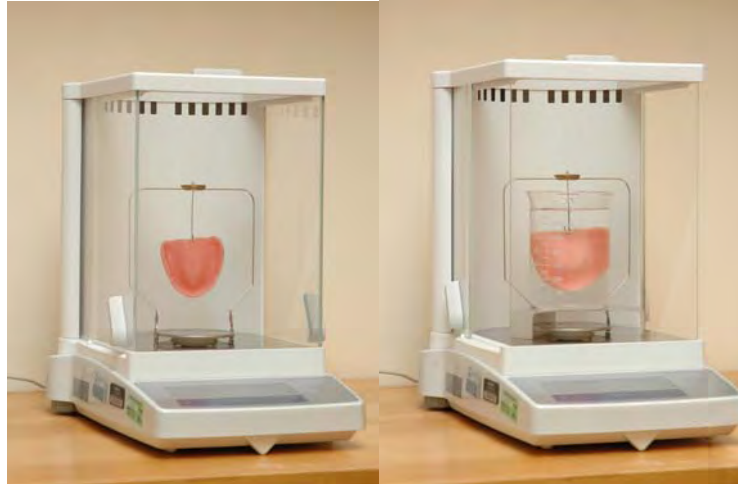


FIGURA 22 - A- Pesagem do espécime formato base protética no ar; B- Pesagem do espécime na água.

O FP foi calculado a partir das seguintes fórmulas aritméticas^{6,7,14,49}:

Espécime seco

$$V_{e\text{ seco}} = \frac{m_s - m_s'}{\rho_{\text{água}}}$$

Onde:

$V_{e\text{ seco}}$: volume do espécime seco

m_s : massa do espécime seco registrada no ar

m_s' : massa do espécime seco registrada com o espécime mergulhado imediatamente na água

$\rho_{\text{água}}$: densidade da água

Espécime úmido

$$V_{e \text{ úmido}} = \frac{m_u - m_u'}{\rho_{\text{água}}}$$

Onde:

$V_{e \text{ úmido}}$: volume do espécime úmido

m_u : massa do espécime úmido registrada no ar

m_u' : massa do espécime úmido registrada com o espécime mergulhado imediatamente na água

$\rho_{\text{água}}$: densidade da água

A partir daí o FP foi relacionado com os volumes do espécime seco e úmido da seguinte forma:

$$FP = \frac{(V_{e \text{ úmido}} - V_{e \text{ seco}}) \times 100}{V_{e \text{ seco}}}$$

PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O número necessário de espécimes para a realização desse estudo foi determinado no plano piloto dessa pesquisa, por meio de análise estatística para estimativa do tamanho da amostra. Para cada grupo experimental, 7 espécimes foram confeccionados, sendo 56

formato ISO, e 56 em formato de base protética, totalizando 128 espécimes.

Na aplicação da análise estatística, foram consideradas as variáveis fator de porosidade (FP) e coeficiente de difusão (D), e estabelecido um fator de variação (grupo), sendo que esse fator foi avaliado em quatro níveis para cada tipo de resina acrílica estudada, considerando que a estatística foi aplicada somente para os grupos armazenados nas aw ótimas e em água destilada pura.

Para as variáveis FP e D em ambas as resinas testadas, a aderência à distribuição normal e a homogeneidade de variâncias foram testadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e Levene, respectivamente.

No caso da porosidade, os testes apontaram aderência à normalidade e variâncias homogêneas, o que possibilitou comparações por meio de métodos paramétricos. Por outro lado, no caso da variável coeficiente de difusão, o número reduzido de espécimes em alguns grupos impossibilitou a aplicação dos testes anteriores. Assim, optou-se por métodos não paramétricos.

Os grupos foram comparados para cada resina, sem desenho bi-fatorial. Isso se deve ao fato de que os grupos em questão para um material não necessariamente estariam presentes no outro. No caso da porosidade, comparações foram realizadas por meio de análise de variância (ANOVA) para um fator, seguida pelo teste HSD de Tukey.

Para o coeficiente de difusão, empregou-se o teste de Kruskal-Wallis, acompanhado do teste de Dunn para comparações múltiplas. Para todos os procedimentos estatísticos, o nível de significância foi de 0,05.

RESULTADO

1 Formato ISO

1.1 Determinação do tempo para secagem e sorção de água

De acordo com os valores médios obtidos através das pesagens realizadas nas etapas I e II (itens 6.1.1 e 6.1.2 do Material e Método), pôde-se determinar o tempo mínimo de estabilização das massas dos espécimes de resina acrílica no formato ISO durante os períodos de desorção e de sorção de água, para os grupos 9 a 16.

Os dados correspondentes às pesagens realizadas possibilitaram a obtenção, a partir do programa *Origin* versão 6.1, dos Gráficos 1 de desorção e 2 de sorção de água, para os grupos 9 a 16, cujas curvas temporais permitiram estabelecer o período necessário de desorção de água, que foi de 20 dias, e o período necessário de sorção de água de 30 dias, independentemente do tipo de resina acrílica e da solução de armazenamento.

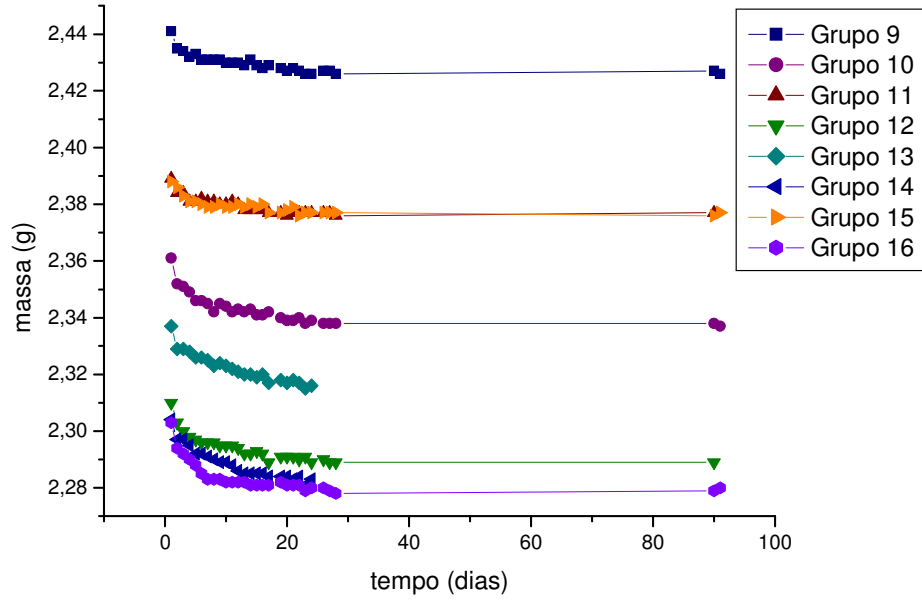


GRÁFICO 1 - Curva temporal de desorção para os grupos 9 a 16.

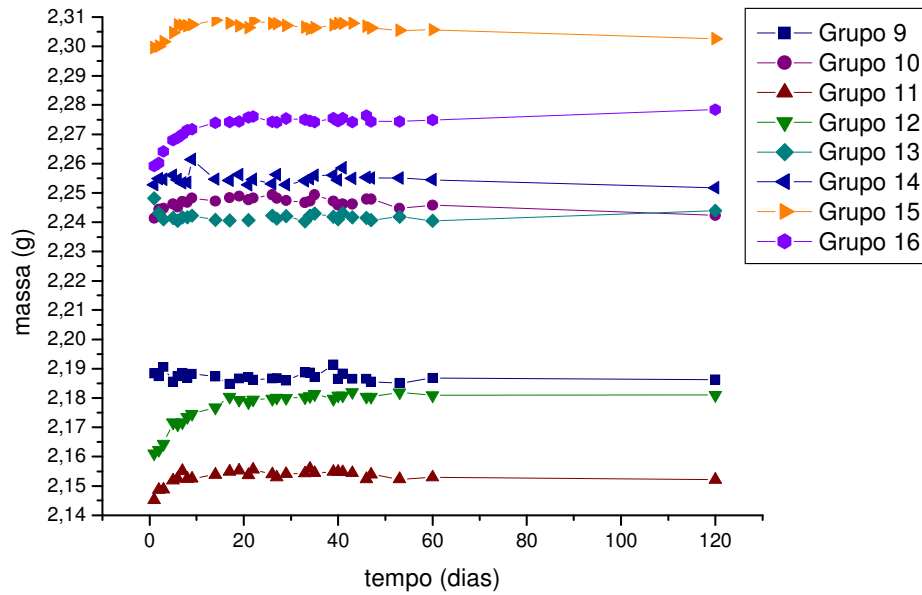


GRÁFICO 2 - Curva temporal de sorção para os grupos 9 a 16.

1.2 Determinação da aw ótima

A partir da obtenção das isotermas de sorção de água, para cada grupo experimental, foi possível determinar a aw ótima (item 6.2 do Material e Método)

As Tabelas a seguir mostram os valores médios e os desvios-padrão de porcentagem de água absorvida no equilíbrio para os grupos polimerizados em microondas (Tabela 3) e em banho de água (Tabela 4). Tais valores foram utilizados para a construção dos Gráficos 3 e 4 para determinação da aw ótima em cada condição experimental.

As Tabelas 5 e 6 contêm os dados utilizados para a construção dos Gráficos 5 e 6, onde se procurou relacionar a massa de água absorvida em $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ de resina (eixo y) com a atividade de água (eixo x) para correlacioná-la com o valor de referência ISO para sorção de água ($32 \mu\text{g}/\text{mm}^3$)³¹. Verifica-se que os Gráficos 3 e 4 (em % de água absorvida) são semelhantes aos Gráficos 5 e 6 (em $\mu\text{g}/\text{mm}^3$) na determinação da aw ótima.

Para se saber se a massa de água absorvida dentro das aw ótimas estão dentro do valor de referência ISO para sorção de água ($32 \mu\text{g}/\text{mm}^3$)³¹, inicialmente procurou-se saber qual o volume de resina correspondente a massa de 100g, sabendo-se que 1 cm^3 equivale a 1,198 g de resina (densidade da resina = $1,198 \text{ g}/\text{cm}^3$)⁶. Então, o valor correspondente a 100g de resina foi calculado, resultando em $83,47 \text{ cm}^3$,

que corresponde a $83,47 \times 10^3 \text{ mm}^3$. Esse valor, que é fixo, foi utilizado para calcular os volumes de água absorvida em $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ para todos os grupos, a partir da % de água absorvida, conforme o exemplo abaixo (cálculo para o Grupo 9):

% de água absorvida no equilíbrio: 0,022g/ 100g de resina. Como cada 100 g de resina equivalem a um volume de $83,47 \times 10^3 \text{ mm}^3$, dividindo $0,022\text{g}/83,47 \times 10^3 \text{ mm}^3$, obtemos o valor de água absorvida em $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ que correspondeu, nesse caso, a $0,264 \mu\text{g}/\text{mm}^3$.

Tabela 3 - Valores médios e desvios-padrão de % de água absorvida no equilíbrio para os grupos polimerizados em microondas

Grupo	9	10	11	12
aw	0,25	0,50	0,75	1
Média	0,022	0,243	0,362	0,964
dp	0,007	0,037	0,050	0,079

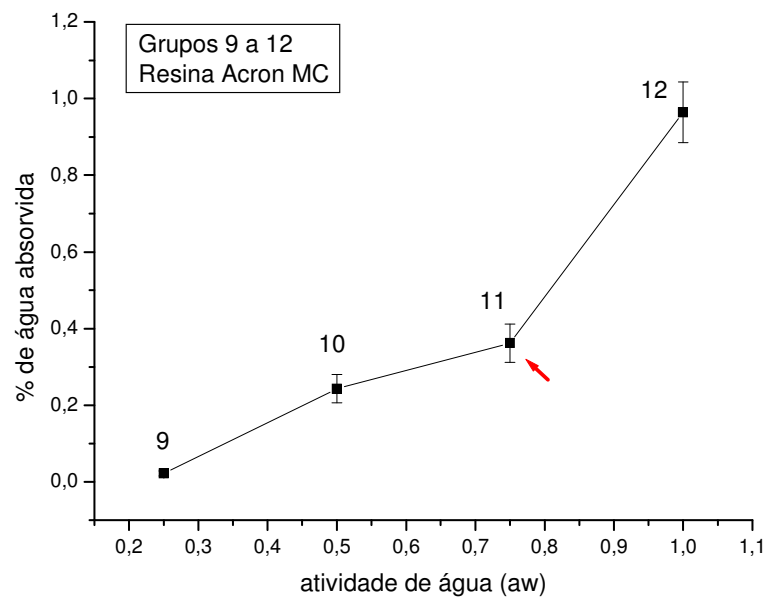


GRÁFICO 3 - Isoterma de sorção representativa para a determinação da a_w ótima para os grupos 9 a 12 (formato ISO / polymerizados em microondas). A seta indica o ponto a partir do qual passa a existir o efeito plastificante⁶⁰.

Tabela 4 - Valores médios e desvios-padrão de % de água absorvida no equilíbrio para os grupos polymerizados em banho de água

Grupo	13	14	15	16
aw	0,25	0,50	0,75	1
Média	0,005	0,082	0,323	0,874
dp	0,000	0,032	0,075	0,092

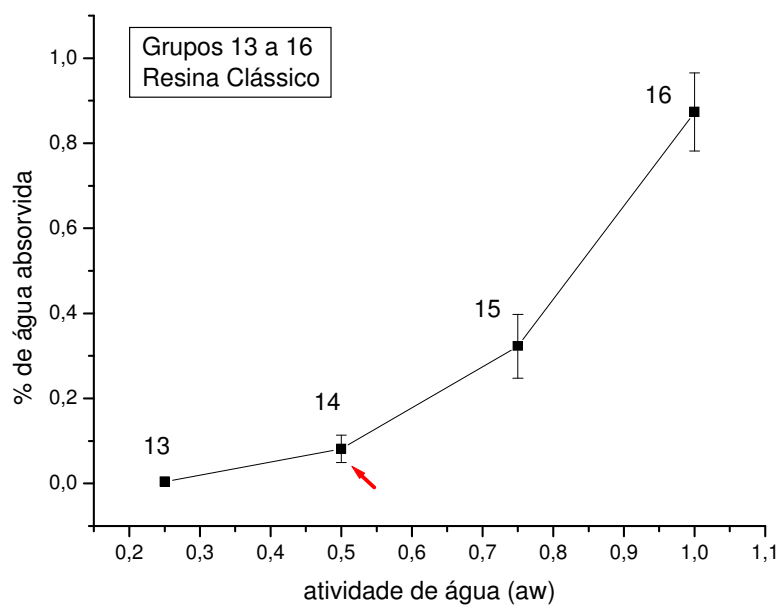


GRÁFICO 4 - Isoterma de sorção representativa para a determinação da a_w ótima para os grupos 13 a 16 (formato ISO / polimerizados em banho de água quente). A seta indica o ponto a partir do qual passa a existir o efeito plastificante⁶⁰.

TABELA 5 - Valores médios de água absorvida em $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ para os grupos polimerizados em microondas

Grupo	9	10	11	12
a_w	0,25	0,50	0,75	1
Média	0,264	2,911	4,337	11,549
dp	0,084	0,443	0,599	,946

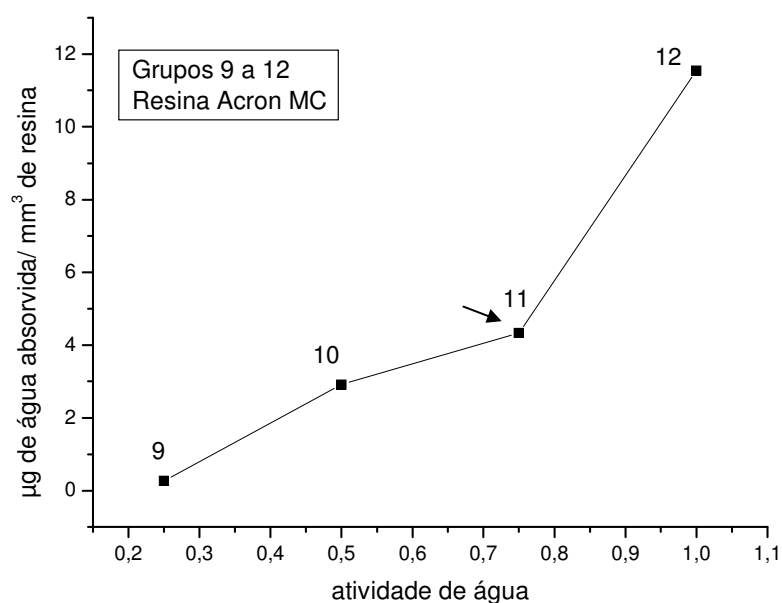


GRÁFICO 5 - Isotherma de sorção representativa para a comparação com o valor de referência ISO para sorção ($32 \mu\text{g}/\text{mm}^3$), para os grupos 9 a 12 (formato ISO/polimerizados em microondas). A seta indica o ponto a partir do qual passa a existir o efeito plastificante⁶⁰.

TABELA 6 - Valores médios de água absorvida em $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ para os grupos polimerizados em banho de água

Grupo	13	14	15	16
aw	0,25	0,50	0,75	1
Média	0,060	0,982	3,870	10,471
dp	0,000	0,383	0,898	1,102

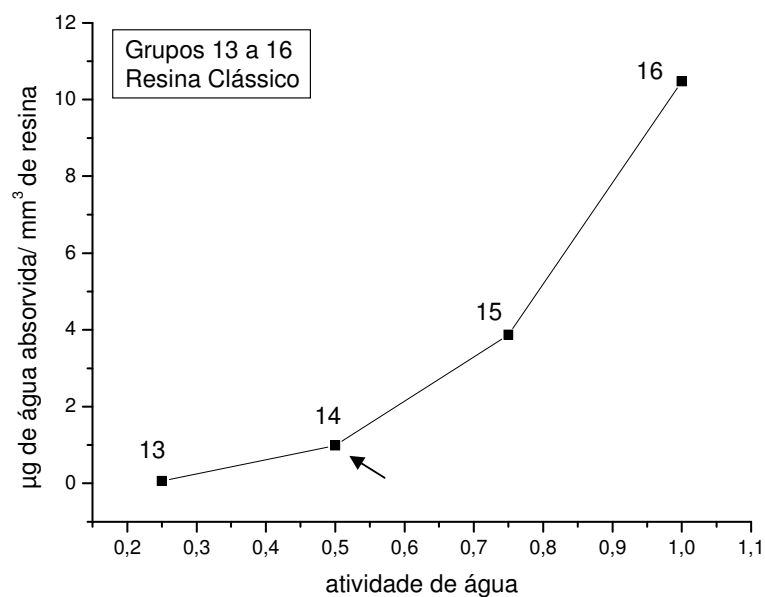


GRÁFICO 6 - Isoterma de sorção representativa para a comparação com o valor de referência ISO para sorção ($32 \mu\text{g}/\text{mm}^3$), para os grupos 13 a 16 (formato ISO/ polimerizados em banho de água). A seta indica o ponto a partir do qual passa a existir o efeito plastificante⁶⁰.

Podemos verificar que, para os grupos formato ISO polimerizados em microondas, a a_w ótima foi 0,75 (Grupo 11) e, para os espécimes polimerizados em banho de água quente, a a_w ótima foi 0,50 (Grupo 14). A partir dos Gráficos 4 e 6, podemos verificar que em todos os grupos, os valores de água absorvida em $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ são inferiores em relação ao valor de referência ISO ($32 \mu\text{g}/\text{mm}^3$)³¹.

1.3 Coeficiente de difusão

O coeficiente de difusão (D) foi calculado somente para as condições de aw ótima (Grupos 11 e 14) e para os grupos que foram armazenados em água destilada pura (Grupos 12 e 16).

O procedimento para o cálculo do valor médio do D foi descrito no capítulo Material e Método (item 6.3).

Os valores descritos na Tabela 7 foram obtidos a partir da média dos valores de D obtidos em cada Grupo.

Tabela 7 - Médias e desvios-padrão de coeficiente de difusão D (em cm^2/s), para os Grupos 11 e 14 (aw ótima) e 12 e 16 (água pura)

	Grupo			
	11	14	12	16
Média	$2,24 \times 10^{-12}$	$1,50 \times 10^{-12}$	$3,72 \times 10^{-11}$	$3,43 \times 10^{-11}$
DP	$7,95 \times 10^{-13}$	$7,81 \times 10^{-13}$	$1,54 \times 10^{-11}$	$1,58 \times 10^{-11}$

1.4 Fator de porosidade

O fator de porosidade (item 6.4 do Material e Método) foi calculado somente nos grupos dentro das condições de aw ótima (Grupos 11 e 14) e na água destilada pura (Grupos 12 e 16).

Para o cálculo da porosidade de acordo com Bafile et al.⁶, Barbosa⁷, Compagnoni et al.¹⁴ e Pero et al.⁴⁹, foram calculados inicialmente o volume do espécime seco ($V_{e\text{ seco}}$) e o volume do espécime úmido ($V_{e\text{ úmido}}$). Esses dados estão no capítulo Anexos. A Tabela 8 apresenta os resultados de fator de porosidade (FP) para os Grupos 11, 12, (resina Acron MC), 14 e 16 (resina Clássico).

Tabela 8 - Valores de fator de porosidade (%), média e desvio-padrão para os Grupos 11, 12, 14 e 16. O realce em amarelo indica o grupo da a_w ótima. Os valores entre parênteses indicam a atividade de água (a_w)

	Resina Acron MC		Resina Clássico	
Grupo	11(0,75)	12 (1)	14 (0,50)	16 (1)
Média	0,35	0,19	0,70	1,32
DP	0,08	0,55	0,21	0,27

2 Formato base protética

2.1 Determinação do tempo para desorção e sorção de água

A partir das pesagens realizadas nas etapas I e II (itens 6.1.1 e 6.1.2 do Material e Método), os valores médios foram obtidos para os grupos 1 a 8, e foi determinado o tempo mínimo de

estabilização das massas dos espécimes de resina acrílica no formato base protética durante os períodos de desorção e de sorção de água.

Os dados correspondentes às pesagens realizadas possibilitaram a obtenção, a partir do programa *Origin* versão 6.1, dos Gráficos 7 de desorção e 8 de sorção de água, para os grupos 1 a 8, cujas curvas temporais permitiram estabelecer o período necessário de desorção de água, que foi de 30 dias, e o período necessário de sorção de água de 40 dias, independentemente do tipo de resina acrílica e da solução de armazenamento.

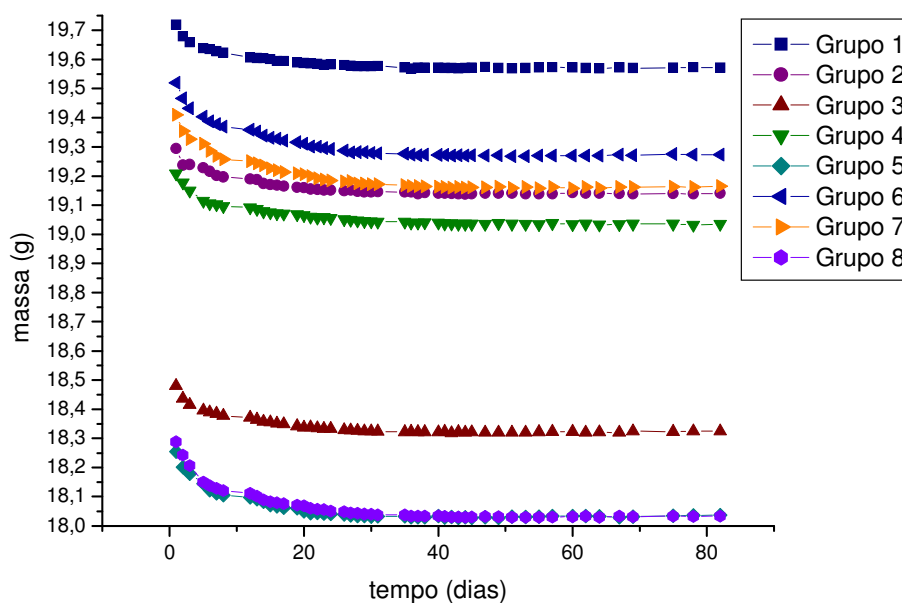


GRÁFICO 7 - Curva temporal de desorção para os grupos 1 a 8.

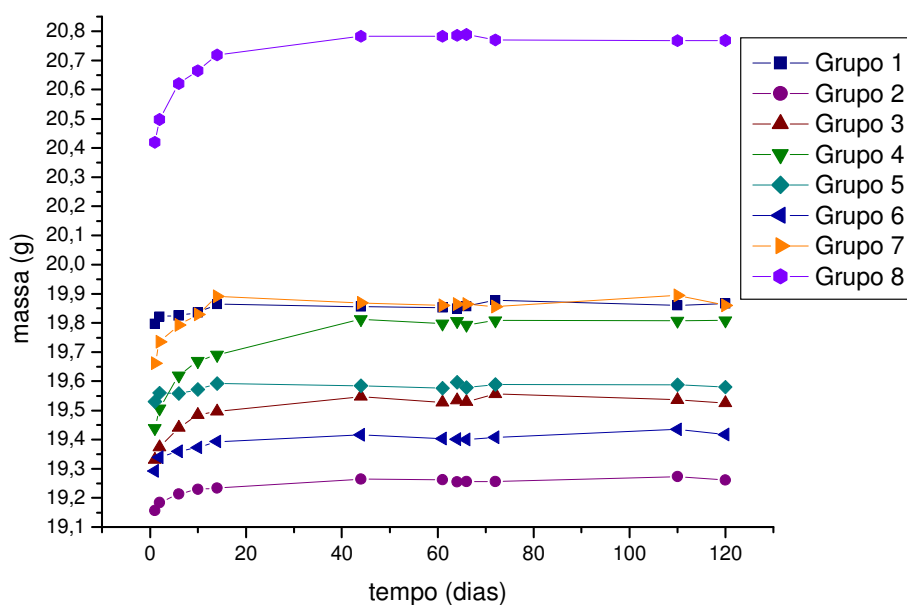


GRÁFICO 8 - Curva temporal de sorção para os grupos 1 a 8.

2.2 Determinação da a_w ótima

As tabelas a seguir mostram os valores médios e os desvios-padrão de porcentagem de água absorvida no equilíbrio para os grupos polimerizados em microondas (Tabela 9) e em banho de água (Tabela 10). Tais valores foram utilizados para a construção dos Gráficos 9 e 10 para determinação da a_w ótima em cada condição experimental, procedimento idêntico ao que foi utilizado para os espécimes formato ISO.

As Tabelas 11 e 12 contêm os dados utilizados para a construção dos Gráficos 11 e 12, onde se procurou relacionar a massa de água absorvida em μg por mm^3 de resina (eixo y) com a atividade de água (eixo x) para determinação da a_w ótima e correlação com o valor de referência ISO para sorção de água ($32 \mu\text{g}/\text{mm}^3$)³¹. A obtenção desses valores foi realizada de maneira idêntica à descrita no item 1.2 desse Capítulo. Verifica-se que os Gráficos 9 e 10 (em % de água absorvida) são semelhantes aos Gráficos 11 e 12 (em $\mu\text{g}/\text{mm}^3$) na determinação da a_w ótima.

Tabela 9 - Valores médios e desvios-padrão de % de água absorvida no equilíbrio para os grupos polimerizados em microondas

Grupo	1	2	3	4
a_w	0,25	0,50	0,75	1
Média	0,033	0,006	0,010	0,192
dp	0,0003	0,0002	0,001	0,0006

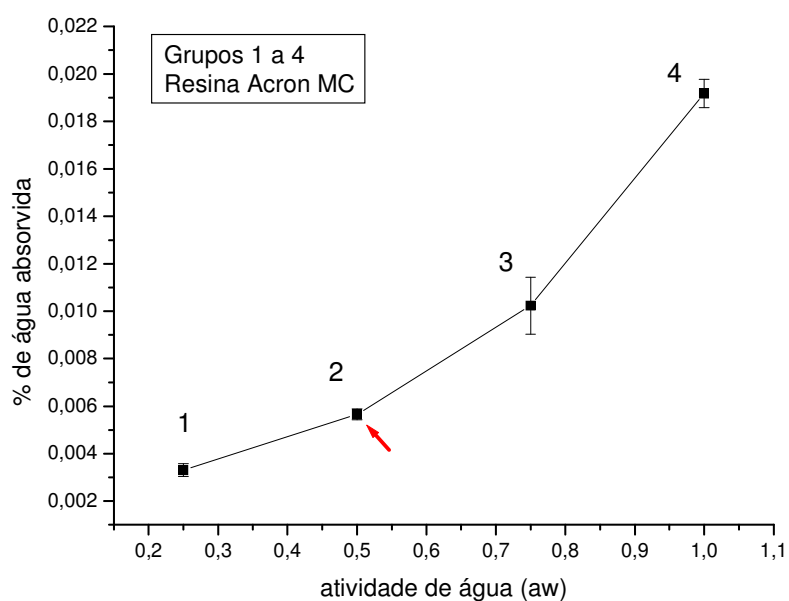


GRÁFICO 9 - Isoterma de sorção representativa para a determinação da a_w ótima para os grupos 1 a 4 (polimerizados em microondas). A seta indica o ponto a partir do qual passa a existir o efeito plastificante⁶⁰.

Tabela 10 - Valores médios e desvios-padrão de % de água absorvida no equilíbrio para os grupos polimerizados em banho de água

Grupo	5	6	7	8
aw	0,25	0,50	0,75	1
Média	0,003	0,006	0,010	0,018
dp	0,0004	0,0003	0,0007	0,0005

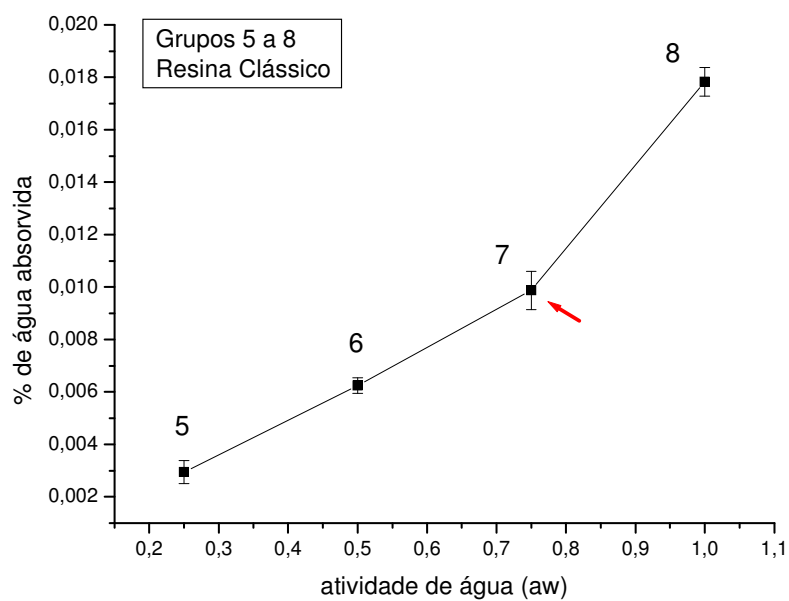


GRÁFICO 10 - Isoterma de sorção representativa para a determinação da a_w ótima para os grupos 5 a 8 (polimerizados em banho de água quente). A seta indica o ponto a partir do qual passa a existir o efeito plastificante⁶⁰.

Tabela 11 - Valores médios de água absorvida em $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ para os grupos polimerizados em microondas

Grupo	1	2	3	4
a_w	0,25	0,50	0,75	1
Média	0,395	0,072	0,120	2,300
dp	0,003	0,002	0,012	0,007

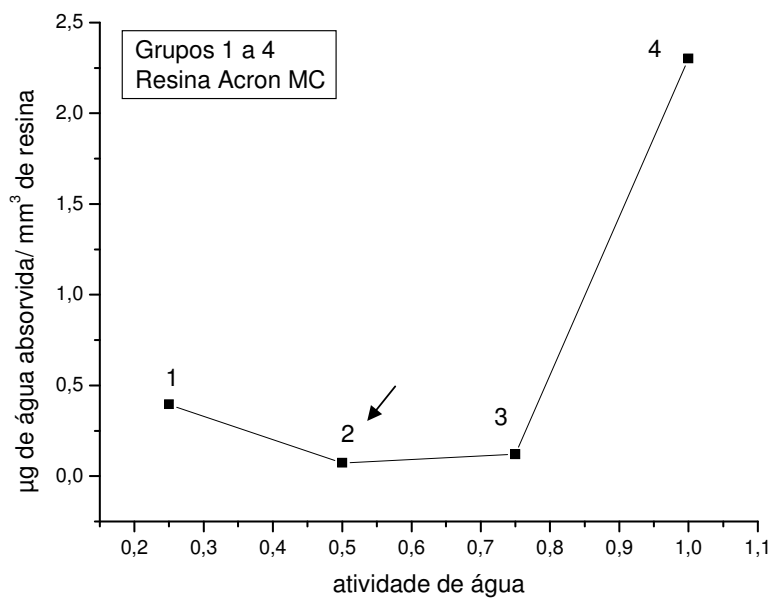


GRÁFICO 11- Isoterma de sorção representativa para a comparação com o valor de referência ISO para sorção ($32 \mu\text{g}/\text{mm}^3$), para os grupos 1 a 4 (formato base/ polimerizados em microondas). A seta indica o ponto a partir do qual passa a existir o efeito plastificante⁶⁰.

Tabela 12 - Valores médios de água absorvida em $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ para os grupos polimerizados em banho de água

Grupo	5	6	7	8
aw	0,25	0,50	0,75	1
Média	0,036	0,072	0,120	0,216
dp	0,005	0,003	0,008	0,006

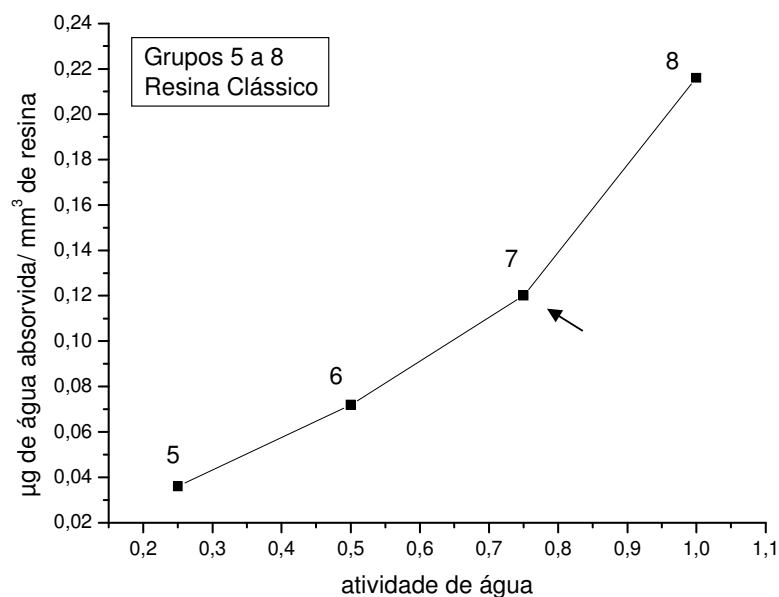


GRÁFICO 12 - Isoterma de sorção representativa para a comparação com o valor de referência ISO para sorção ($32 \mu\text{g}/\text{mm}^3$), para os grupos 5 a 8 (formato base/ polimerizados em banho de água). A seta indica o ponto a partir do qual passa a existir o efeito plastificante⁶⁰.

Determinou-se que, para os grupos formato base polimerizados em microondas, a a_w ótima foi 0,50 (Grupo 2) e, para os espécimes polimerizados em banho de água quente, a a_w ótima foi 0,75 (Grupo 7). A partir dos Gráficos 11 e 12, podemos verificar que em todos os grupos, os valores de água absorvida em $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ são inferiores em relação ao valor de referência ISO ($32 \mu\text{g}/\text{mm}^3$)³¹.

2.3 Coeficiente de difusão

O coeficiente de difusão (D) - item 6.3 do Material e Método - foi calculado para as condições de aw ótima (Grupos 2 e 7) e para os grupos que foram armazenados em água destilada pura (Grupos 4 e 8).

Os valores descritos na Tabela 13 foram obtidos a partir da média dos valores de D em cada Grupo.

Tabela 13 - Médias e desvios-padrão de coeficiente de difusão D (em cm^2/s), para os Grupos 2 e 7 (aw ótima) e 4 e 8 (água pura)

	Grupo			
	2	7	4	8
Média	$3,49 \times 10^{-13}$	$1,32 \times 10^{-12}$	$2,50 \times 10^{-12}$	$2,85 \times 10^{-12}$
DP	$3,05 \times 10^{-14}$	$2,76 \times 10^{-13}$	$6,70 \times 10^{-13}$	$9,25 \times 10^{-13}$

2.4 Fator de porosidade

O fator de porosidade (item 6.4 do Material e Método) foi calculado somente nos grupos dentro das condições de aw ótima (Grupos 2 e 7) e na água destilada pura (Grupos 4 e 8).

Para o cálculo da porosidade de acordo com Bafile et al.⁶, Barbosa⁷, Compagnoni et al.¹⁴ e Pero et al.⁴⁹, foram calculados inicialmente o volume do espécime seco ($V_{e\text{ seco}}$) e o volume do espécime úmido ($V_{e\text{ úmido}}$). Esses dados estão no capítulo Anexos. A Tabela 14 apresenta os resultados de fator de porosidade (FP) para os Grupos 2, 4 (resina Acron MC), 7 e 8 (resina Clássico).

Tabela 14 - Valores de fator de porosidade (%), média e desvio-padrão para os Grupos 2, 4, 7 e 8. O realce em amarelo indica o grupo da a_w ótima. Os valores entre parênteses indicam a atividade de água (a_w)

Grupo	Resina Acron MC		Resina Clássico	
	2 (0,50)	4 (1)	7 (0,75)	8 (1)
Média	0,24	1,37	0,54	1,21
DP	0,05	0,05	0,23	0,07

3 Análise estatística

As Tabelas 15 e 16 a seguir mostram a análise de variância (ANOVA) a um fator aplicada para a comparação da variável porosidade, para as resinas Acron MC e Clássico, respectivamente.

Tabela 15 - ANOVA a um fator para comparação dos FP para a resina Acron MC

Fonte de variação	SQ	gl	QM	F	P
Entre grupos	6,39	3	2,13	30,97	<0,001
Resíduo	1,44	21	0,07		
Total	7,83	24			

Tabela 16 - ANOVA a um fator para comparação dos FP para a resina Clássico

Fonte de variação	SQ	gl	QM	F	P
Entre grupos	2,98	3	0,99	15,71	<0,001
Resíduo	1,45	23	0,06		
Total	4,43	26			

Após a aplicação do teste HSD de Tukey, é possível observar que, dentro do nosso objetivo, a comparação do FP em cada uma das resinas avaliadas detectou importantes efeitos (Figuras 23 e 24), que serão descritos a seguir.

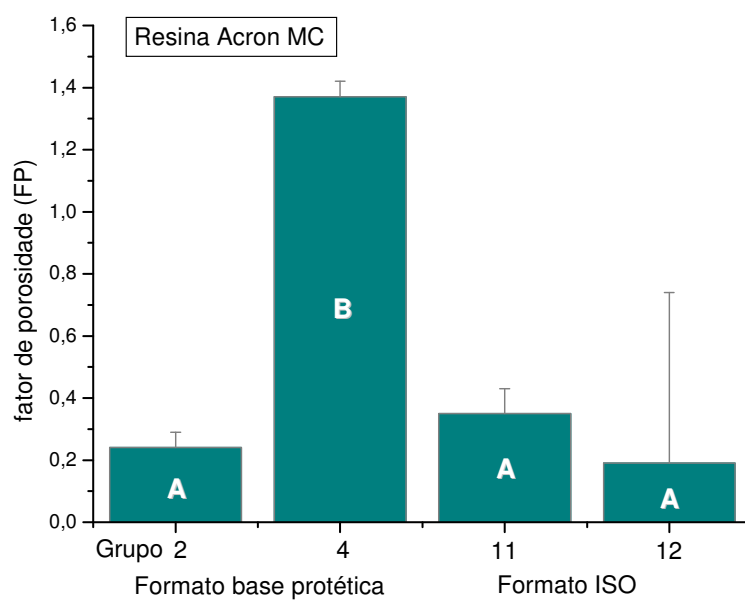


FIGURA 23 - Valores médios e desvios-padrão de FP pra a resina Acron MC. Letras iguais indicam semelhança estatística entre os grupos.

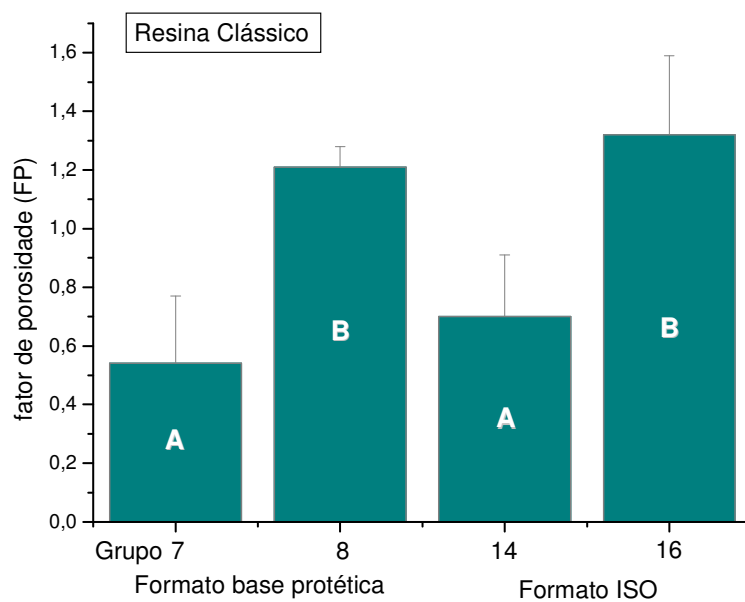


FIGURA 24 - Valores médios e desvios-padrão de FP para a resina Clássico. Letras iguais indicam semelhança estatística entre os grupos.

Para a resina Acron MC (Figura 23), considerando o formato base protética, foi detectada diferença estatística entre os valores de FP nos grupos 2 e 4, sendo que o grupo 2 representa os espécimes armazenados na aw ótima 0,50 e o grupo 4 foi armazenado em água destilada pura. Portanto, para a resina Acron MC no formato base protética, o teste estatístico indicou que o FP nos espécimes armazenados em água pura foi maior que o FP no grupo armazenado na aw ótima. Já para a mesma resina no formato ISO, a atividade de água não influenciou nos resultados de FP, ou seja, o FP foi estatisticamente semelhante nos grupos armazenados na aw ótima e na água pura. Ainda, dentro da proposta desse estudo, é importante destacar que também foi observado que não houve influência do formato para a resina Acron MC quando os espécimes foram armazenados nas aw ótimas, ou seja, houve semelhança entre os grupos 2 e 11. Entretanto, quando armazenados em água pura, os espécimes sofreram influência do formato (comparação entre os grupos 4 e 12). Ainda, O FP foi semelhante para o formato base protética na aw ótima em relação ao formato ISO independente da aw (aw ótima ou aw de água pura).

Já para a resina Clássico (Figura 24) observamos que, em ambos os formatos, o armazenamento dos espécimes em água pura produziu valores de FP maiores estatisticamente em relação aos encontrados quando os mesmos foram armazenados nas aw ótimas. Ainda para a resina Clássico, também foi observado que o formato do

espécime não interferiu nos resultados de FP nas condições de armazenamento chamadas aw ótimas, isto é, os FP foram semelhantes dentro das aw ótimas independentemente do formato do espécime, e isso também ocorreu nos grupos armazenado em água pura.

A comparação dos coeficientes de difusão foi feita em cada tipo de resina, separadamente, por meio do teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dunn para comparações múltiplas. O teste de Kruskal-Wallis utiliza os postos médios da variável coeficiente de difusão, representados na Tabela 17 e Figura 25, para a resina Acron MC, e na Tabela 18 e Figura 26, para a resina Clássico. Em ambos os casos, as diferenças foram significantes (Acron MC: $KW=13,62$, $P=0,003$; Clássico: $KW=9,88$, $P=0,020$).

Tabela 17 - Comparações múltiplas não-paramétricas entre postos médios de coeficiente de difusão para a resina Acron MC

Grupo	aw	Formato	Posto médio	Grupo			
				2	4	11	12
2	0,50	Base protética	2,0	-	ns	ns	**
4	1	Base protética	8,4		-	ns	ns
11	0,75	ISO	7,5			-	ns
12	1	ISO	15,0				-

Tabela 18 - Comparações múltiplas não-paramétricas entre postos médios de coeficiente de difusão para a resina Clássico

Grupo	aw	Formato	Posto médio	Grupo			
				7	8	14	16
7	0,75	Base protética	3,7	-	ns	ns	*
8	1	Base protética	8,7		-	ns	ns
14	0,50	ISO	5,0			-	ns
16	1	ISO	13,0				-

* Significativo em nível entre 1 e 5%

** Significativo em nível menor de que 1%

^{ns} Não significativo

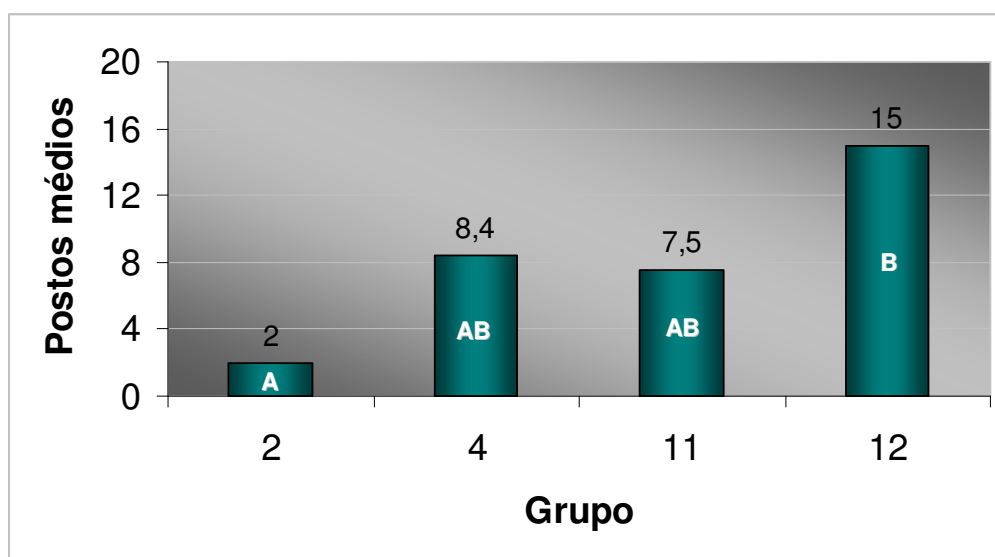


FIGURA 25 - Postos médios de coeficiente de difusão para os grupos 2, 4, 11 e 12 para a resina Acron MC.

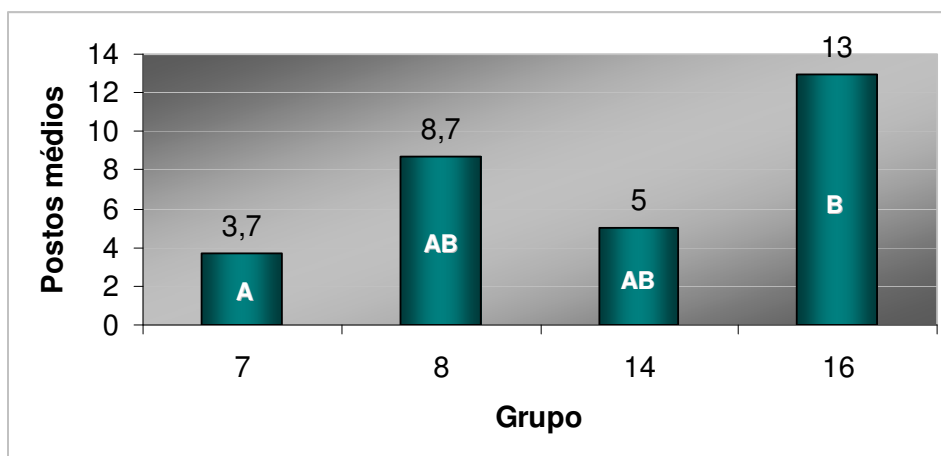


FIGURA 26 - Postos médios de coeficiente de difusão para os grupos 7, 8, 14 e 16 para a resina Clássico.

* letras iguais significam semelhança estatística.

As comparações entre os coeficientes de difusão nos espécimes armazenados na aw ótima e na água destilada pura, tanto para a resina Acron MC como para a resina Clássico, dentro do mesmo formato do espécime, mostrou que o D foi estatisticamente maior para os espécimes armazenados em água destilada pura em relação ao armazenamento na aw ótima em todas essas comparações. Dessa forma, foi constatado que, dentro da mesma resina e do mesmo formato, a velocidade de entrada de água na resina acrílica apresentou-se maior quando os espécimes foram armazenados em água pura em relação a essa velocidade quando os espécimes foram armazenados nas aw ótimas.

Discussão

Na avaliação da porosidade da resina acrílica, uma variedade de métodos é reportada na literatura, o que foi afirmado por Yannikakis et al.⁶⁹, em 2002. Os autores comentaram que o método que relaciona a porosidade com a massa do espécime antes e após sua imersão em água, o volume do espécime e a densidade da resina acrílica, apesar de ser objetivo, não fornece informações detalhadas sobre o tamanho e a localização dos poros.

O método de avaliação da porosidade da resina acrílica por meio da sorção de água tem sido utilizado por alguns pesquisadores, sendo que nesses estudos os espécimes são armazenados em água destilada pura. No presente estudo, foram utilizadas diferentes soluções de cloreto de cálcio anidro para que uma solução ótima (a_w ótima) fosse indicada para o armazenamento dos espécimes⁶⁰.

Devemos considerar que ao realizar o método de sorção de água para avaliarmos a porosidade em resina acrílica, a interação da água com a resina determina que, por difusão^{3,41,53,64}, uma parte dessa água venha a ocupar os espaços existentes na estrutura do polímero⁴ (fração de água ativa), e uma outra parte dessa água absorvida venha a ocupar os espaços que representam verdadeiramente poros (fração de água inativa). Ao se utilizar o método de sorção de água dentro

de uma aw ótima estaríamos considerando apenas a fração de água inativa. Dentro da proposta do presente trabalho, considerando o efeito plastificante que a fração de água ativa possa causar à estrutura da resina acrílica, seria nossa recomendação que se indicasse o estudo da porosidade por meio de sorção dentro das aw ótimas aqui estabelecidas.

Ao seguir a metodologia proposta em nosso estudo, foi possível determinar inicialmente qual era a aw ótima a ser definida dentro de cada resina acrílica e para cada formato avaliado. Uma vez isso determinado, o estudo seguiu comparando os valores de fator de porosidade (FP) dentro dessa aw ótima com o FP encontrado quando os espécimes foram armazenados em água destilada pura.

Ao calcular os valores de FP no presente estudo nas aw ótimas, procuramos mensurar a fração de água inativa, ou seja, a quantidade de água absorvida pela resina que se encontra verdadeiramente no interior de poros, excluindo a fração de água ativa, que é conhecida por ser aquela que é responsável por plastificar a estrutura da resina.

Nossos resultados demonstraram que para a resina Acron MC, que é uma resina acrílica polimerizada por meio da energia de microondas, a aw ótima foi 0,50 e 0,75 para o formato base protética e ISO, respectivamente. Para essa resina, constatamos que apenas para o formato ISO não houve diferença significativa nos valores de FP quando os espécimes foram armazenados em aw ótima ou em água destilada

pura. Dessa forma poderíamos estabelecer, a princípio, que para a resina Acron MC, o método de sorção de água para a avaliação da porosidade pode ser realizado para o formato preconizado pela norma ISO, em aw ótima 0,75 ou em água destilada pura. No entanto, o fator coeficiente de difusão (D) deve ser considerado, uma vez que ele determina a velocidade de entrada da água na resina, sendo que quanto maior o D, maior é a possibilidade da água absorvida causar alterações conformacionais à estrutura da resina, tais como efeito de plastificação⁵⁴. Dessa forma, como o valor de D para o grupo armazenado em água destilada pura foi maior, recomendamos que os espécimes para avaliação da porosidade para a resina Acron MC no formato ISO sejam armazenados na aw ótima 0,75. Portanto, constatamos em nosso trabalho que, apesar de os valores de FP terem sido semelhantes na aw ótima e na água pura, o valor de D foi determinante para indicarmos a aw ótima para o armazenamento dos espécimes confeccionados com a resina Acron MC no formato ISO para a avaliação da porosidade.

Ainda para a resina Acron MC, para o formato base protética, o estudo deve ser realizado dentro da aw ótima 0,50, uma vez que o valor de fator de porosidade (FP) para o armazenamento em água destilada pura foi maior do que quando a referida amostra foi armazenada dentro de uma aw ótima previamente determinada. Ainda, como o FP foi semelhante entre os grupos das aw ótimas (Grupos 2 e 11), outro fator

relevante em nosso estudo para a resina Acron MC é que o formato do espécime não foi um fator significativo.

Já para a resina Clássico, que é uma resina polimerizada em banho de água quente, constatamos que o FP encontrado quando os espécimes foram armazenados em aw ótima apresentaram valores significativamente menores em relação aos espécimes armazenados em água pura para ambos os formatos estudados. Verificou-se ainda que o formato do espécime não foi fator significativo no FP ao serem comparados dentro das aw ótimas (Grupos 7 e 14) ou mesmo no armazenamento em água destilada pura (Grupos 8 e 16). Isso indica que para esse tipo de resina acrílica a validação do método de análise da porosidade por meio de sorção de água se aplica desde que o espécime seja armazenado em uma aw ótima, que é de 0,75 para o formato base protética e de 0,50 para o padrão ISO. Ainda, como o FP foi semelhante entre os grupos das aw ótimas e da água pura, outro fator relevante em nosso estudo para a resina Clássico é que o formato do espécime não foi um fator significativo no FP.

Dentro de nossa proposta, foi preciso determinar os períodos de sorção e desorção dos espécimes, em função do formato do espécime, solução de armazenamento e tipo de processamento. Nossos resultados demonstraram que os períodos de desorção e sorção não sofreram influência dos fatores tipo de processamento e solução de armazenamento, apenas o formato do espécime interferiu na

determinação desses períodos. Os espécimes em formato ISO demoraram 20 dias para desorção e 30 para sorção até o equilíbrio, e as bases protéticas levaram 30 e 40 dias, respectivamente. Os maiores períodos de desorção e sorção observados para as bases poderia ser explicado devido à sua maior espessura e conformação mais complexa. Nesse caso, o monômero residual após a polimerização não está localizado somente na superfície do espécime, mas também nas regiões mais centrais da resina acrílica⁶⁷. Talvez por esse motivo, nas bases protéticas estudadas nesse trabalho, a extração de monômero, água e outras substâncias bem como a sorção de água demandou maiores períodos de tempo.

Para a determinação do período de sorção de água, observamos que as curvas temporais de sorção obtidas para todos os grupos nesse estudo apresentaram comportamento crescente até o equilíbrio, e que a partir desse momento a massa permaneceu estável por um período três vezes maior. Esse comportamento indica que, em nosso estudo, de maneira geral, a secagem dos espécimes ocorreu dentro da precisão experimental, já que, segundo Kalachandra, Turner³⁴, em períodos prolongados de sorção muitas vezes pode ser notada uma diminuição das massas dos espécimes. Essa redução das massas dos espécimes está relacionada com a extração de líquidos tais como água ou monômero do interior da massa polimerizada que não foram eliminados durante a secagem e são liberados na solução de armazenamento em

imersão, durante a sorção. Como em nosso estudo tal comportamento não foi observado, podemos dizer que nosso método de secagem foi bem conduzido de forma que os resultados demonstraram que a secagem dos espécimes ocorreu de maneira efetiva. Esse fato indica que os períodos de sorção e desorção aqui determinados contribuem seguramente para a validação do método de análise da porosidade proposta nesse trabalho.

Os períodos de estabilização das massas dos espécimes determinados em nosso estudo são semelhantes a resultados de estudos prévios. Smith, Schmitz⁶⁰, utilizando espécimes de resina acrílica a base de poli (metil metacrilato) em formato de discos de 1 mm de espessura verificaram que o período de desorção foi de 7 dias, e, no período de sorção, as massas atingiram o equilíbrio após 6-7 semanas, sendo que os espécimes foram armazenados em diferentes soluções. Skinner⁵⁹ comentou que a entrada de água entre as moléculas de metil metacrilato ocorre em grande parte durante a imersão da resina em água a 37°C pelo período de uma semana e que, depois disso, aumentos perceptíveis ocorrem ainda por 6 semanas ou mais. Pero et al.⁴⁹ determinaram períodos de 20 e 35 dias para desorção e sorção, respectivamente, em bases protéticas de uma resina termopolimerizável convencional e outra polimerizada em microondas.

Na validação do método de análise da porosidade por meio da sorção de água, também foi observado que o tipo de processamento representado pelo tipo de resina acrílica foi um fator que

interferiu na determinação da solução ótima de armazenamento dos espécimes (a_w ótima), já que, considerando um mesmo formato, encontramos a_w ótimas distintas em cada uma das resinas acrílicas estudadas. De acordo com nossos resultados, a a_w ótima na resina Acron MC formato base foi 0,50, e para o formato ISO foi 0,75; já na resina Clássico esses valores foram 0,75 e 0,50, respectivamente. Ao analisarmos as isotermas de sorção para a determinação da a_w ótima, devemos entender que quanto maior o valor numérico da a_w ótima determinado nessa curva, significa que nessa resina a interação com a água é menor. Portanto, para a resina Acron MC no formato base protética, a interação da água com a matriz polimérica ocorreu já numa a_w de 0,50, sendo que na resina Clássico nesse mesmo formato essa interação só foi notada a partir da a_w 0,75. Isso sugere que na resina Clássico, polimerizada em banho de água, um maior grau de polimerização pode ter gerado uma resina com menos sítios polares livres para interagir com as moléculas de água. Essa afirmação está de acordo com Jagger³² e Vallittu et al.⁶⁶, que afirmaram que devido ao ciclo de polimerização ser conduzido de maneira lenta e gradual, as resinas termopolimerizáveis convencionais apresentam maior grau de conversão, ou seja, maior conversão de monômero em polímero. Ainda, Arima et al.⁵, Davis, Carmichael¹⁸ e Dogan et al.²¹ comentaram que na resina acrílica termopolimerizável a existência abundante de ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas dificulta a penetração dos plastificadores, o que indica

que a entrada de água torna-se mais difícil. Resultados contrários foram observados para o formato ISO, onde observamos que o efeito da plastificação, isto é, a interação água/matriz acrílica para a resina Acron MC foi menor do que no caso da polimerizada em banho de água.

A análise estatística realizada no presente trabalho teve a finalidade de comparar fatores de porosidade (FP) e coeficientes de difusão (D), dentro de uma mesma resina, no sentido de comprovar a validação do método de análise da porosidade por meio da sorção de água através da comparação desses valores. Dessa forma, a diferença estatística entre os valores de FP na aw ótima em relação à solução de água pura, dentro de uma mesma resina e mesmo formato, dá suporte para a proposta desse estudo, pois indica que o armazenamento dos espécimes em água pura pode resultar em valores de porosidade irreais. Ainda, o D observado nos espécimes armazenados em água destilada pura apresentou-se sempre maior em relação ao D quando os espécimes foram armazenados na aw ótima determinada, independente do formato e do tipo de resina acrílica.

Gostaríamos de salientar que tanto para a resina Acron MC como para a Clássico, o fator formato do espécime não interferiu nos resultados de FP entre os grupos armazenados nas aw ótimas, já que em ambos os formatos do espécime o FP foi semelhante nas aw ótimas. Esse resultado contraria o conceito de que as diferentes geometrias e espessuras de uma prótese poderiam afetar a dissipação de

calor gerado na polimerização, e ser um fator decisivo na formação de poros³³. Entretanto, devemos considerar que nossos resultados não invalidam as conclusões emitidas por autores que tenham avaliado a porosidade por meio de sorção de água^{6,7,14,49} ou aqueles que observaram influência do formato ou da espessura no FP⁴⁹, uma vez que tais resultados foram gerados a partir da avaliação da porosidade por meio de sorção em água pura. Tanto isso deve ser considerado que se observarmos para os valores de FP obtidos no presente estudo para a resina Acron MC quando os espécimes foram armazenados em água pura, também observamos que o formato foi um fator significativo. Entretanto, há de se considerar que o FP foi maior nos espécimes armazenados em água pura para a resina Clássico em ambos os formatos e para a resina Acron MC no formato base protética, o que reforça a nossa proposta de utilização do método dentro de uma aw ótima.

Em relação aos valores de D, a comparação entre todos os grupos nas duas resinas acrílicas avaliadas contribuiu de maneira efetiva para a validação do método de análise da porosidade por meio da sorção de água, uma vez que foi observado um maior valor de D na solução de água pura em relação à aw ótima, dentro de uma mesma resina e mesmo formato.

A comprovação de um maior valor de D na solução de água pura em relação à aw ótima, dentro de uma mesma resina e mesmo

formato, vem a colaborar para a nossa proposta, uma vez que indica que na água pura a velocidade de entrada da água na resina é maior. Isso comprova que a água plastifica a estrutura da resina, ou seja, proporciona a criação de espaços vazios entre as cadeias do polímero e, conseqüentemente, a acomodação de moléculas de água resultando em valores de porosidade irreais. Esse efeito plastificante da água na resina acrílica foi comentado por Anusavice³ e Arima et al.⁵, que afirmaram que as moléculas de água interferem no entrelaçamento das cadeias poliméricas, podendo até produzir a ruptura de ligações químicas, o que caracteriza sua atuação como um plastificante.

No presente estudo, ainda procuramos calcular os valores de água absorvida em $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ para todos os grupos experimentais, a fim de correlacionar esses valores com o valor estabelecido pela norma ISO 1567: 2001³¹. De acordo com essa norma, a sorção de água até $32\ \mu\text{g}/\text{mm}^3$ é aceitável para compensar parcialmente a contração de polimerização das resinas acrílicas para base protética. Nossos resultados demonstraram que, para todos os grupos e em todas as aw, os valores de água absorvida em $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ foram inferiores em relação a esse valor de referência ISO. No entanto, acima do valor determinado como aw ótima, ocorre a atuação do efeito plastificante da água na resina acrílica. Dessa forma, embora a absorção de água esteja dentro do limite recomendado pela ISO mesmo nos valores de aw acima da aw ótima, entendemos que nesses valores a ocorrência do efeito

plastificante contra-indica a utilização dessas aw, o que determina que seja utilizada a aw ótima para o armazenamento dos espécimes para avaliação da porosidade. Portanto, esses resultados também corroboram com a validação do método de análise da porosidade proposta nesse estudo.

Embora o presente trabalho tenha sido realizado a fim de validar o método de avaliação da porosidade por meio da sorção de água, é importante salientar que mais estudos são sugeridos com o mesmo objetivo, utilizando-se outros tipos de resinas acrílicas para base protética, bem como materiais reembasadores, tendo em vista a grande variedade de materiais disponíveis atualmente.

Além disso, julgamos oportuna a avaliação de outras propriedades da resina acrílica tais como resistência á flexão, dureza, rugosidade, estabilidade de cor, dentro das condições determinadas nesse estudo como sugestões de estudos futuros. Dessa forma, será possível indicar de maneira segura o método de avaliação da porosidade por meio de sorção de água, de forma a resultar em resultados reais e garantir as propriedades da resina acrílica dentro das normas pré-estabelecidas.

Conclusão

No presente estudo, foi possível concluir que:

1. Para a resina Acron MC, polimerizada por meio da energia de microondas, a aw ótima indicada é uma solução de cloreto de cálcio anidro a 50% para o formato base protética e a 75% para o formato ISO. Para a resina Clássico, polimerizada em banho de água quente, a aw ótima indicada é 75% para o formato base protética e 50% para o formato ISO.
2. Para uma mesma resina acrílica, o formato do espécime não foi significativo no FP dentro das aw ótimas.
3. Dentro de uma mesma resina e mesmo formato, a comprovação de um maior valor de D na solução de água pura, colaborou com a nossa proposta de validação do método dentro de uma aw ótima.
4. A sorção de água encontrada nesse estudo, nas aw ótimas, apresentou-se dentro do limite recomendado pela ISO.
5. Na aw água pura, embora os valores de sorção de água estejam abaixo do limite ISO, observamos que o efeito de plastificação não foi eliminado, embora a contração de polimerização possa ser compensada.

*Referências **

1. Al Doori D, Huggett R, Bates JF. A comparison of denture base resins polymerized by microwave irradiation and by conventional water bath curing systems. *Dent Mater.* 1988; 4: 25-32.
2. Alkhatib MB, Goodacre CJ, Swartz ML, Munoz-Viveros CA, Andres CJ. Comparison of microwave-polymerized denture base resins. *Int J Prosthodont.* 1990; 3: 249-55.
3. Anusavice KJ. *Phillips' science of dental materials.* 10th ed. Pennsylvania: Saunders; 1996.
4. Arikan A, Ozkan YK, Arda T, Akalin B. An in vitro investigation of water sorption and solubility of two acetal denture base materials. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2005; 13:119-22.
5. Arima T, Murata H, Hamada T. The effects of cross-linking agents on the water sorption and solubility characteristics of denture base resin. *J Oral Rehabil.* 1996; 23: 476-80.
6. Bafile M, Graser GN, Myers ML, Li EKH. Porosity of denture resin cured by microwave energy. *J Prosthet Dent.* 1991; 66: 269-74.
7. Barbosa DB. Avaliação da resistência à flexão e da porosidade de resina acrílica polimerizada em diferentes ciclos por meio da energia de microondas [tese doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2003.
8. Blasi P, D'Souza SS, Selmin F, DeLuca PP. Plasticizing effect of water on poly (lactide-co-glycolide). *J Control Release.* 2005; 108:1-9.
9. Borges LH, Domitti SS, Consani S. Influência de ciclos de polimerização sobre polimento, rugosidade, porosidade e dureza superficial da resina acrílica QC-20. *Rev CROMG.* 2000; 6: 68-77.
10. Botega DM, Machado TS, Mello JAN, Garcia RCMR, Cury AA. Polymerization time for a microwave-cured acrylic resin with multiple flasks. *Braz Oral Res.* 2004; 18: 23-8.
11. Braden M. The absorption of water by plastics. *Br Dent J.* 1963; 31: 83-8.

* De acordo com o estilo Vancouver. Disponível em: http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html

12. Campbell RL. Effects of water sorption on retention of acrylic resin denture bases. *J Am Dent Assoc.* 1956; 52: 448-54.
13. Crank J. *The mathematics of diffusion.* Oxford: Clarendon Press; 1975.
14. Compagnoni MA, Barbosa DB, Souza RF, Pero AC. The effect of polymerization cycles on porosity of microwave-processed denture base resin. *J Prosthet Dent.* 2004; 91: 281-5.
15. Cucci AL, Vergani CE, Giampaolo ET, Afonso MC. Water sorption, solubility, and bond strength of two autopolymerizing acrylic resins and one heat-polymerizing acrylic resin. *J Prosthet Dent.* 1998; 80: 434-8.
16. Cury AADB, Rodrigues Junior AL, Panzeri H. Resinas acrílicas dentais polimerizadas por energia de microondas, método convencional de banho de água e quimicamente ativada: propriedades físicas. *Rev Odontol Univ São Paulo.* 1994; 8: 243-9.
17. Davenport JC. The oral distribution of *Candida* in denture stomatitis. *Br Dent J.* 1970; 129: 151-6.
18. Davis DM, Carmichael RP. The plasticizing effect of temporary soft lining materials on polymerized acrylic resins. *J Prosthet Dent.* 1988; 60: 463-6.
19. De Clerck JP. Microwave polymerization of acrylic resins used in dental prostheses. *J Prosthet Dent.* 1987; 57: 650-8.
20. Dhir G, Berzins DW, Dhuru VB, Periathamby AR, Dentino A. Physical properties of denture base resins potentially resistant to *Candida* adhesion. *J Prosthodont.* 2007; 16: 465-72.
21. Dogan A, Bek B, Cevik NN, Usanmaz A. The effect of preparation conditions of acrylic denture base materials on the level of residual monomer, mechanical properties and water absorption. *J Dent.* 1995; 23: 313-8.
22. Duymus ZY, Yanikoglu ND. Influence of a thickness and processing method on the linear dimensional change and water sorption of denture base resin. *Dent Mater J.* 2004; 23: 8-13.

23. Duymus ZY, Yanikoglu ND. The investigation of solubility values, water sorption and bond strength of auto-polymerizing and heat-polymerizing acrylic resin materials. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2006; 14: 116-20.
24. Faraj SA, Ellis B. The effect of processing temperatures on the exotherm, porosity and properties of acrylic denture base. *Br Dent J.* 1979; 147: 209-12.
25. Firtell DN, Harman LL. Porosity in boilable acrylic resin. *J Prosthet Dent.* 1983; 49: 133-4.
26. Gay WD, King GE. An evaluation of the cure of acrylic resin by three methods. *J Prosthet Dent.* 1979; 42: 437-40.
27. Gettleman L, Nathanson D, Myerson RL. Effect of rapid curing procedures on polymer implant materials. *J Prosthet Dent.* 1977; 37: 74-82.
28. Harrison A, Huggett R. Effect of the curing cycle on the residual monomer levels of acrylic resin denture base polymers. *J Dent.* 1992; 20: 370-4.
29. Honorez P, Catalan A, Agnes U, Grimonster J. The effect of three processing cycles on some physical and mechanical properties of heat-cured acrylic resin. *J Prosthet Dent.* 1989; 61: 510-7.
30. Ilbay SG, Güvener S, Alkumru HN. Processing dentures using a microwave technique. *J. Oral Rehabil.* 1994; 21: 103-9.
31. International Organization for Standardization. *Dentistry: denture base polymers. ISO 1567: 1998 (E).* Switzerland: ISO; 1998.
32. Jagger RG. Effect of the curing cycle on some properties of a polymethylmethacrylate denture base material. *J Oral Rehabil.* 1978; 5: 151-7.
33. Jerolimov V, Brooks SC, Huggett R, Bates JF. Rapid curing of acrylic denture-base materials. *Dent Mater.* 1989; 5: 18-22.
34. Kalachandra S, Turner DT. Water sorption of poly(methyl methacrylate): 3. Effects of plasticizers. *Polymer.* 1987; 28: 1749-52.

35. Keller JC, Lautenschlager EP. Porosity reduction and its associated effect on the diametral tensile strength of activated resins. *J Prosthet Dent.* 1985; 53: 374-9.
36. Kimpara ET, Muench A. Porosidade em decorrência do processamento e volume de resina acrílica. *Rev Odontol Univ São Paulo.* 1996; 10: 237-9.
37. Kimura H, Teraoka F, Ohnishi H, Saito T, Yato M. Applications of microwave for dental technique (Part 1). Drog-forming and curing of acrylic resins. *J Osaka Univ Dent Sch.* 1983; 23: 43-9.
38. Labarre EE, Turner DT. Increased water sorption of poly (methyl methacrylate) after removal of methanol. *J Polymer Science: Polymer Physics Edition.* 1982; 20: 557-60.
39. Lai CP, Tsai MH, Chen M, Tay HH. Morphology and properties of denture acrylic resins cured by microwave energy and conventional water bath. *Dent Mater.* 2004; 20: 133-41.
40. Levin B, Sanders JL, Reitz PV. The use of microwave energy for processing acrylic resins. *J Prosthet Dent.* 1989; 61: 381-3.
41. Meloto CB, Silva-Concílio LR, Machado C, Ribeiro MC, Joia FA, Rizzatti-Barbosa CM. Water sorption of heat-polymerized acrylic resins processed in mono and bimaxillary flasks. *Braz Dent J.* 2006;17:122-5.
42. Ming XC, Changxi S. Rapid-processing procedure for heat polymerization of polymethyl methacrylate in a pressure cooker with automatic controls. *J Prosthet Dent.* 1996; 76: 445-7.
43. Monfrin SB, Notaro V, Gassino G, Perotti R, Bassi F. Dimensional contour stability of acrylic resin bases for complete dentures before and after water sorption. *Int J Prosthodont.* 2005; 18: 480-2.
44. Nishii M. Studies on the curing of denture base resins with microwave irradiation: with particular reference to heat-curing resins. *J Osaka Dent Univ Osaka.* 1968; 2: 23-40.
45. Nowlin TP, Taubert R, Boeselt J. Tensile strength and porosity in two new acrylic products manufactured for microwave processing. *Compend Contin Educ Dent.* 1993; 4: 413-5.

46. Ohashi M. Observations on the generating mechanism of internal porosity in polymerization of methyl methacrylic resin for dental use. *J Nihon Univ Sch Dent.* 1961; 4: 1-13.
47. Oliveira VMB, León BLT, Cury AADB, Consani S. Influence of number and position of flasks in the monomer release, Knoop hardness and porosity of a microwave-cured acrylic resin. *J Oral Rehabil.* 2003; 30: 1104-8.
48. Paes Júnior TJA, Marchini L, Kimpara ET. Estudo in vitro da porosidade da resina acrílica ativada termicamente através de ciclo longo e por energia de microondas. *PGR.* 1999; 2: 36-42.
49. Pero AC, Barbosa DB, Marra J, Ruvolo-Filho AC, Compagnoni MA. Influence of microwave polymerization method and thickness on porosity of acrylic resin. *J Prosthodont.* 2008; 17: 125-9.
50. Pero AC, Brogna AC, Marra J, Barbosa DB, Compagnoni MA. Influência da polimerização por meio da energia de microondas sobre a porosidade interna de bases de resina acrílica de prótese total superior. *Cienc Odontol Bras.* 2006; 9: 76-83.
51. Phillips RW. *Science of dental materials.* 8th ed. Philadelphia: Saunders; 1982.
52. Reitz PV, Sanders JL, Levin B. The curing of denture acrylic resins by microwave energy. *Physical properties.* *Quintessence Int.* 1985; 16: 547-51.
53. Ristic B, Carr L. Water sorption by denture acrylic resin and consequent changes in vertical dimension. *J Prosthet Dent.* 1987; 58: 689-93.
54. Roger CE. Solubility and diffusivity. In: Fox ED, Labes MM, Weissberger A. *Physics and chemistry of the organic solid state.* New York: Interscience Publishers; 1965. Cap. 6.
55. Rudd KD. Processing complete dentures. *Dent Clin North Am.* 1996; 40: 121-49.
56. Samuel SMW, Gonzatto D, Suzuki RM. Avaliação da porosidade de resinas acrílicas de termo-polimerização. *Rev Fac Odontol Porto Alegre.* 1996; 37: 18-20.

57. Sanders JL, Levin B, Reitz PV. Porosity in denture acrylic resins cured by microwave energy. *Quintessence Int.* 1987; 18: 453-6.
58. Shlosberg SR, Goodacre CJ, Munoz CA, Schnell RJ. Microwave energy polymerization of poly(methyl methacrylate) denture base resin. *Int J Prosthodont.* 1989; 2: 453-8.
59. Skinner EW, Chung P. The effect of surface contact in the retention of a denture. *J Prosthet Dent.* 1951; 1: 229.
60. Smith LSA, Schmitz V. The effect of water sorption on the glass transition temperature of poly(methyl methacrylate). *Polymer.* 1988; 29: 1871-8.
61. Smolareck J. Resinas acrílicas de termopolimerização: Influência do binômio tempo/temperatura na porosidade interna da resina. *Dens.* 1972; 1: 120-31.
62. Söderholm KJ. Water sorption in a bis(GMA)/TEGDMA resin. *J Biomed Mater Res.* 1984; 18: 271-9.
63. Tager A. *Physical chemistry of polymers.* Moscow: Mir Publisher; 1978.
64. Takahashi Y, Chai J, Kawaguchi M. Effect of water sorption on the resistance to plastic deformation of a denture base material relined with four different denture reline materials. *Int J Prosthodont.* 1998; 11: 49-54.
65. Truong VT, Thomasz FGV. Comparison of denture acrylic resins cured by boiling water and microwave energy. *Aust Dent J.* 1988; 33: 201-4.
66. Vallittu PK, Ruyter IE, Buykuilmaz S. Effect of polymerization temperature and time on the residual monomer content of denture base polymers. *Eur J Oral Sci.* 1998; 106: 588-93.
67. Wolfaardt JF, Cleaton-Jones P, Fatti P. The occurrence of porosity in a heat-cured poly (methyl methacrylate) denture base resin. *J Prosthet Dent.* 1986; 55: 393-400.
68. Yanikoglu ND, Duymus ZY. Comparative study of water sorption and solubility of soft lining materials in the different solutions. *Dent Mater J.* 2004; 23: 233-9.

69. Yannikakis S, Zissis A, Polyzois G, Andreopoulos A. Evaluation of porosity in microwave-processed acrylic resin using a photographic method. *J Prosthet Dent.* 2002; 87: 613-9.

ANEXOS

1 Formato ISO

1.1 Determinação do coeficiente de difusão (D)

Tabela 1 - Valores das massas (em gramas) registradas durante o período de desorção, para a determinação do coeficiente de difusão (D), para o grupo 11 (aw 0,75)

	Grupo 11						
	cp 1	cp 2	cp 3	cp 4	cp 5	cp 6	cp 7
t0	2,1521	2,2126	2,197	2,1595	2,1043	2,1074	2,3977
30s	2,1519	2,2125	2,1968	2,1594	2,1042	2,1073	2,3977
1 min	2,1518	2,2124	2,1967	2,1593	2,1042	2,1073	2,3977
2 min	2,1516	2,2124	2,1965	2,1592	2,1041	2,1073	2,3976
3 min	2,1515	2,2124	2,1963	2,1592	2,104	2,1073	2,3975
4 min	2,1515	2,2123	2,1962	2,1591	2,1039	2,1073	2,3975
5 min	2,1515	2,2124	2,1961	2,1591	2,1039	2,1073	2,3974
10 min	2,1516	2,2124	2,1957	2,1589	2,1039	2,1073	2,3972
20 min	2,1517	2,2126	2,1957	2,1589	2,104	2,1075	2,3972
30 min	2,1519	2,2128	2,1959	2,1591	2,1042	2,1075	2,3972

Tabela 2 - Valores das massas (em gramas) registradas durante o período de desorção, para a determinação do coeficiente de difusão (D), para o grupo 12 (aw 1)

	Grupo 12						
	cp 1	cp 2	cp 3	cp 4	cp 5	cp 6	cp 7
t0	2,195	2,2495	2,3508	2,3735	2,3417	2,3851	2,3854
30s	2,1944	2,2491	2,3499	3,373	2,341	2,3843	2,3847
1 min	2,1941	2,249	2,3497	2,3729	2,3408	2,3838	2,3847
2 min	2,193	2,2485	2,3495	2,3721	2,3396	2,3829	2,3846
3 min	2,1921	2,2479	2,3493	2,372	2,3386	2,3827	2,3843
4 min	2,191	2,2473	2,3491	2,3717	2,338	2,3825	2,3842
5 min	2,1901	2,2468	2,3487	2,3716	2,3374	2,3822	2,384
10 min	2,1891	2,2461	2,3483	2,3711	2,3371	2,3815	2,3836
20 min	2,1888	2,246	2,3478	2,3707	2,3369	2,3815	2,3834
30 min	2,1886	2,2459	2,3465	2,3704	2,3366	2,3809	2,3833

Tabela 3 - Valores das massas (em gramas) registradas durante o período de desorção, para a determinação do coeficiente de difusão (D), para o grupo 14 (aw 0,50)

	Grupo 14						
	cp 1	cp 2	cp 3	cp 4	cp 5	cp 6	cp 7
t0	2,1715	2,2606	2,285	2,136	2,1843	2,2016	2,2604
30s	2,1715	2,2606	2,2849	2,1359	2,1842	2,2016	2,2602
1 min	2,1714	2,2605	2,2848	2,1358	2,1842	2,2016	2,2602
2 min	2,1714	2,2603	2,2847	2,1358	2,1842	2,2015	2,26
3 min	2,1713	2,2602	2,2846	2,1358	2,1841	2,2015	2,26
4 min	2,1713	2,2601	2,2846	2,1358	2,1842	2,2014	2,26
5 min	2,1713	2,2601	2,2845	2,1358	2,1842	2,2014	2,26
10 min	2,1711	2,2601	2,2843	2,1358	2,1843	2,2007	2,2601
20 min	2,1711	2,26	2,2835	2,136	2,1845	2,2	2,2604
30 min	2,1712	2,2601	2,2832	2,1362	2,1845	2,1997	2,2604

Tabela 4 - Valores das massas (em gramas) registradas durante o período de desorção, para a determinação do coeficiente de difusão (D), para o grupo 16 (aw 1)

	Grupo 16						
	cp 1	cp 2	cp 3	cp 4	cp 5	cp 6	cp 7
t0	2,4868	2,4521	2,3129	2,434	2,1916	2,233	2,2963
30s	2,4864	2,4516	2,3128	2,4333	2,1913	2,2326	2,2956
1 min	2,486	2,4514	2,3125	2,4332	2,1911	2,2325	2,2953
2 min	2,4853	2,4502	2,3122	2,4327	2,1897	2,2318	2,2938
3 min	2,4843	2,4494	2,3119	2,4322	2,1888	2,2316	2,2926
4 min	2,4839	2,449	2,3117	2,4317	2,1876	2,2313	2,2915
5 min	2,4837	2,4487	2,3119	2,4317	2,1868	2,2311	2,2906
10 min	2,4836	2,4484	2,3119	2,4314	2,1861	2,2312	2,2893
20 min	2,4832	2,4479	2,3115	2,431	2,1857	2,231	2,2878
30 min	2,483	2,447	2,3114	2,4307	2,1855	2,2308	2,2863

Quadro 1 - Valores de $t^{1/2}/L$ (eixo x) versus Mt/Meq (eixo y) para cada espécime para a determinação do coeficiente de difusão (D), para o grupo 11

Grupo 11													
cp 1		cp 2		cp 3		cp 4		cp 5		cp 6		cp 7	
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
16,6	0,9999	16,6	0,9995	16,6	0,9991	16,6	0,9986	16,6	0,9981	16,6	0,9976	16,6	0,9971
23,47	0,9986	23,47	0,9991	23,47	0,9986	23,47	0,9981	23,47	0,9976	23,47	0,9971	23,47	0,9966
33,19	0,9976	33,19	0,9991	33,19	0,9977	33,19	0,9986	33,19	0,9981	33,19	0,9976	33,19	0,9971
40,65	0,9972	40,65	0,9991	40,65	0,9968	40,65	0,9986	40,65	0,9981	40,65	0,9976	40,65	0,9971
46,94	0,9972	46,94	0,9986	46,94	0,9963	46,94	0,9981	46,94	0,9976	46,94	0,9971	46,94	0,9966
52,49	0,9972	52,49	0,9991	52,49	0,9959	52,49	0,9986	52,49	0,9981	52,49	0,9976	52,49	0,9971
74,23	0,9976	74,23	0,9991	74,23	0,9941	74,23	0,9997	74,23	0,9992	74,23	0,9987	74,23	0,9982
104,97	0,9981	104,97	0,9986	104,97	0,9941	104,97	0,9997	104,97	0,9992	104,97	0,9987	104,97	0,9982
128,56	0,9999	128,56	1,00009	128,56	0,9995	128,56	0,99981	128,56	0,9993	128,56	0,9996	128,56	0,9991

Quadro 2 - Valores de $t^{1/2}/L$ (eixo x) versus Mt/Meq (eixo y) para cada espécie para a determinação do coeficiente de difusão (D), para o grupo 12

Grupo 12													
cp 1		cp 2		cp 3		cp 4		cp 5		cp 6		cp 7	
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
16,6	0,99973	16,6	0,99982	16,6	0,99962	16,6	0,99979	16,6	0,9997	16,6	0,99966	16,6	0,99971
23,47	0,99959	23,47	0,99978	23,47	0,99953	23,47	0,99975	23,47	0,99961	23,47	0,99945	23,47	0,99971
33,19	0,99909	33,19	0,99955	33,19	0,99945	33,19	0,99941	33,19	0,9991	33,19	0,99908	33,19	0,99966
40,65	0,99868	40,65	0,99929	40,65	0,99936	40,65	0,99937	40,65	0,99868	40,65	0,99899	40,65	0,99954
46,94	0,99818	46,94	0,99902	46,94	0,99928	46,94	0,99924	46,94	0,99842	46,94	0,99891	46,94	0,9995
52,49	0,99777	52,49	0,9988	52,49	0,99911	52,49	0,9992	52,49	0,99816	52,49	0,99878	52,49	0,99941
74,23	0,99731	74,23	0,99849	74,23	0,99894	74,23	0,99899	74,23	0,99803	74,23	0,99849	74,23	0,99924
104,97	0,99717	104,97	0,99844	104,97	0,99872	104,97	0,99882	104,97	0,99795	104,97	0,99849	104,97	0,99916
128,56	0,99708	128,56	0,9984	128,56	0,99817	128,56	0,99869	128,56	0,99782	128,56	0,99824	128,56	0,99912

Quadro 3 - Valores de $t^{1/2}/L$ (eixo x) versus Mt/Meq (eixo y) para cada espécime para a determinação do coeficiente de difusão (D), para o grupo 14

Grupo 14													
cp 1		cp 2		cp 3		cp 4		cp 5		cp 6		cp 7	
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
16,6	1	16,6	0,99996	16,6	0,99995	16,6	0,99995	16,6	0,99995	16,6	1	16,6	0,99991
23,47	0,99995	23,47	0,99995	23,47	0,99991	23,47	0,99991	23,47	0,99995	23,47	1	23,47	0,99991
33,19	0,99995	33,19	0,99987	33,19	0,99987	33,19	0,99991	33,19	0,99995	33,19	0,99995	33,19	0,99982
40,65	0,99991	40,65	0,99982	40,65	0,99982	40,65	0,99991	40,65	0,99991	40,65	0,99995	40,65	0,99982
46,94	0,99991	46,94	0,99978	46,94	0,99982	46,94	0,99991	46,94	0,99995	46,94	0,99991	46,94	0,99982
52,49	0,99991	52,49	0,99978	52,49	0,99978	52,49	0,99991	52,49	0,99995	52,49	0,99991	52,49	0,99982
74,23	0,99981	74,23	0,99978	74,23	0,99969	74,23	0,99991	74,23	1	74,23	0,99959	74,23	0,99987
104,97	0,99981	104,97	0,99973	104,97	0,99934	104,97	1	104,97	1,00009	104,97	0,99927	104,97	1
128,56	0,99986	128,56	0,99978	128,56	0,99921	128,56	1,00009	128,56	1,00009	128,56	0,99914	128,56	1

Quadro 4 - Valores de $t^{1/2}/L$ (eixo x) versus Mt/Meq (eixo y) para cada espécime para a determinação do coeficiente de difusão (D), para o grupo 16

Grupo 16													
cp 1		cp 2		cp 3		cp 4		cp 5		cp 6		cp 7	
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
16,6	0,99984	16,6	0,9998	16,6	0,99984	16,6	0,99984	16,6	0,99971	16,6	0,99986	16,6	0,99982
23,47	0,99968	23,47	0,99971	23,47	0,99968	23,47	0,99968	23,47	0,99967	23,47	0,99977	23,47	0,99978
33,19	0,9994	33,19	0,99922	33,19	0,9994	33,19	0,9994	33,19	0,99946	33,19	0,99913	33,19	0,99946
40,65	0,99899	40,65	0,99899	40,65	0,99899	40,65	0,99899	40,65	0,99926	40,65	0,99872	40,65	0,99937
46,94	0,99883	46,94	0,99873	46,94	0,99883	46,94	0,99883	46,94	0,99905	46,94	0,99817	46,94	0,99924
52,49	0,99875	52,49	0,99861	52,49	0,99875	52,49	0,99875	52,49	0,99905	52,49	0,99781	52,49	0,99915
74,23	0,99871	74,23	0,99849	74,23	0,99871	74,23	0,99871	74,23	0,99893	74,23	0,99749	74,23	0,99919
104,97	0,99855	104,97	0,99829	104,97	0,99855	104,97	0,99855	104,97	0,99877	104,97	0,99731	104,97	0,9991
128,56	0,99847	128,56	0,99792	128,56	0,99847	128,56	0,99847	128,56	0,99864	128,56	0,99722	128,56	0,99901

1.2 Fator de porosidade

1.2.1 Grupo 11

GRUPO 11		
CP	PESO AR	PESO IMEDIATO ÁGUA
1	2,1452	0,1775
2	2,2084	0,2216
3	2,1956	0,2159
4	2,16	0,2262
5	2,105	0,2101
6	2,1091	0,2133
7	2,3982	0,2659

VOLUME cp seco = Peso ar - Peso imediato água/ Densidade da água

1,9677
1,9868
1,9797
1,9338
1,8949
1,8958
2,1323

GRUPO 11		
CP	PESO AR	PESO IMEDIATO ÁGUA
1	2,154	0,1777
2	2,2175	0,2244
3	2,2005	0,2207
4	2,1669	0,22
5	2,1129	0,2144
6	2,1155	0,2152
7	2,4014	0,2641

VOLUME cp úmido = Peso ar - Peso imediato água/ Densidade da água

1,9763
1,9931
1,9798
1,9469
1,8985
1,9003
2,1373

GRUPO 11	
% POROSIDADE	= (V cp úmido - V cp seco)*100/V cp seco
CP	
1	0,44 %
2	0,32 %
3	
4	0,68 %
5	0,19 %
6	0,24 %
7	0,23 %
MÉDIA	0,35 %
DP	0,08

1.2.2 Grupo 12

GRUPO 12		
CP	PESO AR	PESO IMEDIATO ÁGUA
1	2,1611	0,2125
2	2,2153	0,2194
3	2,3149	0,2336
4	2,3338	0,2321
5	2,3008	0,2272
6	2,344	0,2363
7	2,3478	0,2334

VOLUME cp seco = Peso ar - Peso imediato água/ Densidade da água

1,9486
1,9959
2,0813
2,1017
2,0736
2,1077
2,1144

GRUPO 12		
CP	PESO AR	PESO IMEDIATO ÁGUA
1	2,1801	0,2175
2	2,2363	0,2453
3	2,3349	0,2582
4	2,3588	0,248
5	2,3232	0,2406
6	2,3682	0,2584
7	2,3717	0,2547

VOLUME cp úmido = Peso ar - Peso imediato água/ Densidade da água

1,9626
1,9910
2,0767
2,1108
2,0826
2,1098
2,1170

		GRUPO 12	
% POROSIDADE		= (V cp úmido - V cp seco)*100/V cp seco	
CP			
1		0,72	%
2		-0,25	%
3		-0,22	%
4		0,43	%
5		0,43	%
6		0,10	%
7		0,12	%
MÉDIA		0,19	%
DP		0,55	

1.2.3 Grupo 14

GRUPO 14		
CP	PESO AR	PESO IMEDIATO ÁGUA
1	2,1668	0,241
2	2,2553	0,2407
3	2,2789	0,2495
4	2,1323	0,2264
5	2,1803	0,2348
6	2,1929	0,2436
7	2,2528	0,2516

VOLUME cp seco = Peso ar - Peso imediato água/ Densidade da água

1,9258
2,0146
2,0294
1,9059
1,9455
1,9493
2,0012

GRUPO 14		
CP	PESO AR	PESO IMEDIATO ÁGUA
1	2,1683	0,2219
2	2,2553	0,2259
3	2,2767	0,2334
4	2,1347	0,22
5	2,1816	0,233
6	2,1959	0,234
7	2,2546	0,2412

VOLUME cp úmido = Peso ar - Peso imediato água/ Densidade da água

1,9464
2,0294
2,0433
1,9147
1,9486
1,9619
2,0134

		GRUPO 14	
% POROSIDADE		= (V cp úmido - V cp seco)*100/V cp seco	
CP			
1		1,07 %	
2		0,73 %	
3		0,68 %	
4		0,46 %	
5			
6		0,65 %	
7		0,61 %	
	MÉDIA	0,70 %	
	DP	0,21	

1.2.4 Grupo 16

VOLUME cp seco = Peso ar - Peso imediato água/ Densidade da água

GRUPO 16		
CP	PESO AR	PESO IMEDIATO ÁGUA
1	2,4482	0,2914
2	2,413	0,2389
3	2,2819	0,2655
4	2,3977	0,2791
5	2,1571	0,2489
6	2,2015	0,2544
7	2,2592	0,1408

2,1568
2,1741
2,0164
2,1186
1,9082
1,9471
2,1184

VOLUME cp úmido = Peso ar - Peso imediato água/ Densidade da água

GRUPO 16		
CP	PESO AR	PESO IMEDIATO ÁGUA
1	2,4723	0,2785
2	2,4368	0,2344
3	2,3001	0,2592
4	2,419	0,2725
5	2,176	0,2526
6	2,2213	0,2514
7	2,2758	0,1209

2,1938
2,2024
2,0409
2,1465
1,9234
1,9699
2,1549

		GRUPO 16
% POROSIDADE		$= (V \text{ cp úmido} - V \text{ cp seco}) * 100 / V \text{ cp seco}$
CP		
1		1,72 %
2		1,30 %
3		1,22 %
4		1,32 %
5		0,80 %
6		1,17 %
7		1,72 %
MÉDIA		1,32 %
DP		0,27

2 Formato base protética

2.1 Determinação do coeficiente de difusão (D)

Tabela 5 - Valores das massas (em gramas) registradas durante o período de desorção, para a determinação do coeficiente de difusão (D), para o grupo 2 (aw 0,50)

	Grupo 2						
	cp 1	cp 2	cp 3	cp 4	cp 5	cp 6	cp 7
t0	19,2565	17,8615	19,8664	19,6595	18,0566	19,5453	19,2987
30s	19,2561	17,8599	19,8655	19,6587	18,0559	19,5446	19,2976
1 min	19,2558	17,8593	19,8647	19,6585	18,0554	19,5441	19,2974
2 min	19,2553	17,8570	19,8639	19,6572	18,0538	19,5428	19,2970
3 min	19,2551	17,8554	19,8625	19,6566	18,0530	19,5415	19,2961
4 min	19,2550	17,8544	19,8623	19,6561	18,0520	19,5414	19,2960
5 min	19,2551	17,8539	19,8621	19,6558	18,0518	19,5408	19,2958
10 min	19,2551	17,8429	19,8614	19,6556	18,0517	19,5411	19,2968
20 min	19,2552	17,8497	19,8614	19,6547	18,0494	19,5408	19,2966
30 min	19,2554	17,8428	19,8614	19,6553	18,0477	19,5406	19,2964

Tabela 6 - Valores das massas (em gramas) registradas durante o período de desorção, para a determinação do coeficiente de difusão (D), para o grupo 4 (aw 1)

	Grupo 4						
	cp 1	cp 2	cp 3	cp 4	cp 5	cp 6	cp 7
t0	17,8180	19,8057	18,2520	17,6235	19,4266	19,1050	20,6475
30s	17,8167	19,8042	18,2504	17,6213	19,4231	19,1039	20,6453
1 min	17,8163	19,8028	18,2496	17,6211	19,4217	19,1036	20,6442
2 min	17,8143	19,8019	18,2464	17,6190	19,4192	19,1030	20,6412
3 min	17,8136	19,8013	18,2450	17,6187	19,4178	19,1026	20,6401
4 min	17,8125	19,7999	18,2446	17,6173	19,4164	19,1017	20,6397
5 min	17,8117	19,7993	18,2434	17,6176	19,4155	19,1003	20,6393
10 min	17,8107	19,7992	18,2412	17,6160	19,4126	19,0989	20,6379
20 min	17,8083	19,7979	18,2391	17,6134	19,4110	19,0979	20,6358
30 min	17,8080	19,7969	18,2385	17,6134	19,4103	19,0970	20,6352

Tabela 7 - Valores das massas (em gramas) registradas durante o período de desorção, para a determinação do coeficiente de difusão (D), para o grupo 7 (aw 0,75)

	Grupo 7						
	cp 1	cp 2	cp 3	cp 4	cp 5	cp 6	cp 7
t0	19,8528	20,2484	19,6456	17,9690	19,4281	19,3682	17,1479
30s	19,8513	20,2473	19,6444	17,9677	19,4270	19,3674	17,1467
1 min	19,8509	20,2465	19,6438	17,9659	19,4266	19,3670	17,1463
2 min	19,8498	20,2457	19,6424	17,9644	19,4254	19,3658	17,1448
3 min	19,8486	20,2474	19,6416	17,9629	19,4241	19,3651	17,1436
4 min	19,8483	20,2450	19,6408	17,9618	19,4245	19,3646	17,1427
5 min	19,8479	20,2448	19,6401	17,9610	19,4239	19,3642	17,1422
10 min	19,8477	20,2445	19,6394	17,9596	19,4229	19,3645	17,1420
20 min	19,8465	20,2442	19,6385	17,9577	19,4218	19,3639	17,1408
30 min	19,8457	20,2439	19,6379	17,9564	19,4210	19,3635	17,1403

Tabela 8 - Valores das massas (em gramas) registradas durante o período de desorção, para a determinação do coeficiente de difusão (D), para o grupo 8 (aw 1)

	Grupo 8						
	cp 1	cp 2	cp 3	cp 4	cp 5	cp 6	cp 7
t0	18,3760	20,3247	21,4043	18,2499	20,6995	20,3211	20,7736
30s	18,3748	20,3223	21,4016	18,2477	20,6984	20,3178	20,7724
1 min	18,3743	20,3197	21,3981	18,2470	20,6981	20,3155	20,7716
2 min	18,3725	20,3176	21,3954	18,2446	20,6968	20,3133	20,7701
3 min	18,3714	20,3169	21,3909	18,2429	20,6957	20,3113	20,7686
4 min	18,3706	20,3154	21,3893	18,2422	20,6948	20,3096	20,7684
5 min	18,3700	20,3141	21,3864	18,2408	20,6942	20,3084	20,7676
10 min	18,3692	20,3115	21,3840	18,2397	20,6919	20,3044	20,7662
20 min	18,3675	20,3086	21,3825	18,2379	20,6895	20,2994	20,7654
30 min	18,3661	20,3069	21,3813	18,2365	20,6879	20,2979	20,7648

Quadro 5 - Valores de $t^{1/2}/L$ (eixo x) versus Mt/Meq (eixo y) para cada espécime para a determinação do coeficiente de difusão (D), para o grupo 2

Grupo 2													
cp 1		cp 2		cp 3		cp 4		cp 5		cp 6		cp 7	
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
15,65	0,99998	15,65	0,99991	15,65	0,99995	15,65	0,99996	15,65	0,99996	15,65	0,99996	15,65	0,99994
22,13	0,99996	22,13	0,99988	22,13	0,99991	22,13	0,99995	22,13	0,99993	22,13	0,99994	22,13	0,99993
31,3	0,99994	31,3	0,99975	31,3	0,99987	31,3	0,99999	31,3	0,99984	31,3	0,99987	31,3	0,99991
38,33	0,99993	38,33	0,99966	38,33	0,9998	38,33	0,99985	38,33	0,9998	38,33	0,9998	38,33	0,99986
44,26	0,99992	44,26	0,9996	44,26	0,99979	44,26	0,99983	44,26	0,99974	44,26	0,9998	44,26	0,99986
49,49	0,99993	49,49	0,99957	49,49	0,99978	49,49	0,99981	49,49	0,99973	49,49	0,99977	49,49	0,99985
69,98	0,99993	69,98	0,99952	69,98	0,99975	69,98	0,9998	69,98	0,99973	69,98	0,99978	69,98	0,9999
98,97	0,99993	98,97	0,99934	98,97	0,99975	98,97	0,99975	98,97	0,9996	98,97	0,99977	98,97	0,99989
121,22	0,99994	121,22	0,99933	121,22	0,99975	121,22	0,99979	121,22	0,99951	121,22	0,99976	121,22	0,99988

Quadro 6 - Valores de $t^{1/2}/L$ (eixo x) versus Mt/Meq (eixo y) para cada espécie para a determinação do coeficiente de difusão (D), para o grupo 4

Grupo 4																	
cp 1		cp 2		cp 3		cp 4		cp 5		cp 6		cp 7					
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
15,65	0,99993	15,65	0,99992	15,65	0,99991	15,65	0,99987	15,65	0,99982	15,65	0,99982	15,65	0,99994	15,65	0,99994	15,65	0,99989
22,13	0,9999	22,13	0,99985	22,13	0,99987	22,13	0,99986	22,13	0,99975	22,13	0,99975	22,13	0,99993	22,13	0,99993	22,13	0,99984
31,3	0,99979	31,3	0,99981	31,3	0,99969	31,3	0,99974	31,3	0,99962	31,3	0,99962	31,3	0,99989	31,3	0,99989	31,3	0,99969
38,33	0,99975	38,33	0,99978	38,33	0,99962	38,33	0,99973	38,33	0,99955	38,33	0,99955	38,33	0,99987	38,33	0,99987	38,33	0,99964
44,26	0,99969	44,26	0,99971	44,26	0,99959	44,26	0,99965	44,26	0,99947	44,26	0,99947	44,26	0,99983	44,26	0,99983	44,26	0,99962
49,49	0,99965	49,49	0,99968	49,49	0,99953	49,49	0,99966	49,49	0,99943	49,49	0,99943	49,49	0,99975	49,49	0,99975	49,49	0,9996
69,98	0,99959	69,98	0,99967	69,98	0,99941	69,98	0,99957	69,98	0,99928	69,98	0,99928	69,98	0,99968	69,98	0,99968	69,98	0,99953
98,97	0,99945	98,97	0,99961	98,97	0,99929	98,97	0,99943	98,97	0,9992	98,97	0,9992	98,97	0,99963	98,97	0,99963	98,97	0,99943
121,22	0,99944	121,22	0,99955	121,22	0,99926	121,22	0,99943	121,22	0,99916	121,22	0,99916	121,22	0,99958	121,22	0,99958	121,22	0,9994

Quadro 7 - Valores de $t^{1/2}/L$ (eixo x) versus Mt/Meq (eixo y) para cada espécie para a determinação do coeficiente de difusão (D), para o grupo 7

Grupo 7																	
cp 1		cp 2		cp 3		cp 4		cp 5		cp 6		cp 7					
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
15,65	0,99992	15,65	0,99994	15,65	0,99994	15,65	0,99993	15,65	0,99993	15,65	0,99994	15,65	0,99996	15,65	0,99996	15,65	0,99993
22,13	0,9999	22,13	0,99991	22,13	0,99991	22,13	0,99983	22,13	0,99992	22,13	0,99992	22,13	0,99994	22,13	0,99994	22,13	0,99991
31,3	0,99985	31,3	0,99987	31,3	0,99984	31,3	0,99974	31,3	0,99986	31,3	0,99986	31,3	0,99988	31,3	0,99988	31,3	0,99982
38,33	0,99979	38,33	0,99985	38,33	0,9998	38,33	0,99966	38,33	0,99979	38,33	0,99979	38,33	0,99984	38,33	0,99984	38,33	0,99975
44,26	0,99977	44,26	0,99983	44,26	0,99975	44,26	0,9996	44,26	0,99981	44,26	0,99981	44,26	0,99981	44,26	0,99981	44,26	0,9997
49,49	0,99975	49,49	0,99982	49,49	0,99972	49,49	0,99955	49,49	0,99978	49,49	0,99978	49,49	0,99979	49,49	0,99979	49,49	0,99967
69,98	0,99974	69,98	0,99981	69,98	0,99968	69,98	0,99948	69,98	0,99973	69,98	0,99973	69,98	0,99981	69,98	0,99981	69,98	0,99965
98,97	0,99968	98,97	0,99979	98,97	0,99964	98,97	0,99937	98,97	0,99967	98,97	0,99967	98,97	0,99978	98,97	0,99978	98,97	0,99958
121,22	0,99964	121,22	0,99978	121,22	0,99961	121,22	0,9993	121,22	0,99963	121,22	0,99963	121,22	0,99976	121,22	0,99976	121,22	0,99956

Quadro 8 - Valores de $t^{1/2}/L$ (eixo x) versus Mt/Meq (eixo y) para cada espécie para a determinação do coeficiente de difusão (D), para o grupo 8

cp 1		cp 2		cp 3		cp 4		cp 5		cp 6		cp 7	
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
15,65	0,99993	15,65	0,99988	15,65	0,99987	15,65	0,99988	15,65	0,99995	15,65	0,99984	15,65	0,99994
22,13	0,99991	22,13	0,99975	22,13	0,99971	22,13	0,99984	22,13	0,99993	22,13	0,99975	22,13	0,99999
31,3	0,99981	31,3	0,99965	31,3	0,99958	31,3	0,99971	31,3	0,99987	31,3	0,99962	31,3	0,99983
38,33	0,99975	38,33	0,99962	38,33	0,99941	38,33	0,99962	38,33	0,99982	38,33	0,99952	38,33	0,99976
44,26	0,99971	44,26	0,99954	44,26	0,99936	44,26	0,99958	44,26	0,99977	44,26	0,99943	44,26	0,99975
49,49	0,99967	49,49	0,99948	49,49	0,9993	49,49	0,9995	49,49	0,99974	49,49	0,99937	49,49	0,99971
69,98	0,99963	69,98	0,99935	69,98	0,99916	69,98	0,99944	69,98	0,99963	69,98	0,99918	69,98	0,99964
98,97	0,99954	98,97	0,99921	98,97	0,99905	98,97	0,99934	98,97	0,99952	98,97	0,98893	98,97	0,9996
121,22	0,99946	121,22	0,99912	121,22	0,99898	121,22	0,99926	121,22	0,99944	121,22	0,98886	121,22	0,99958

Grupo 8

2.2 Fator de porosidade

2.2.1 Grupo 2

GRUPO 2		
CP	PESO AR	PESO IMEDIATO ÁGUA
1	19,1568	3,0192
2	17,7408	2,7898
3	19,7613	3,1091
4	19,5564	3,0817
5	17,9574	2,828
6	19,4432	3,0668
7	19,2011	3,0269

VOLUME cp seco = Peso ar - Peso imediato água/ Densidade da água

16,1376
14,9510
16,6522
16,4747
15,1294
16,3764
16,1742

GRUPO 2		
CP	PESO AR	PESO IMEDIATO ÁGUA
1	19,2619	3,0657
2	17,8366	2,9424
3	19,8675	3,1663
4	19,6706	3,1359
5	18,0594	2,8777
6	19,5554	3,1149
7	19,3167	3,0782

VOLUME cp úmido = Peso ar - Peso imediato água/ Densidade da água

16,1962
14,8942
16,7012
16,5347
15,1817
16,4405
16,2385

		GRUPO 2	
% POROSIDADE	CP	= (V cp úmido - V cp seco)*100/V cp seco	
	1	0,36 %	
	2	-0,38 %	
	3	0,29 %	
	5		
	6	0,39 %	
	7	0,40 %	
MÉDIA		0,24 %	
DP		0,05	

2.2.2 Grupo 4

GRUPO 4		
CP	PESO AR	PESO IMEDIATO ÁGUA
1	17,4852	2,7581
2	19,4386	3,0606
3	17,9085	2,8174
4	17,2962	2,7171
5	19,0625	3,0004
6	18,7545	2,949
7	20,2699	3,1857

VOLUME cp seco = Peso ar - Peso imediato água/ Densidade da água

14,7271
16,3780
15,0911
14,5791
16,0621
15,8055
17,0842

GRUPO 4		
CP	PESO AR	PESO IMEDIATO ÁGUA
1	17,8227	2,8841
2	19,8087	3,2037
3	18,2614	2,9508
4	17,6361	2,861
5	19,4394	3,1423
6	19,1017	3,1077
7	20,6411	3,3356

VOLUME cp úmido = Peso ar - Peso imediato água/ Densidade da água

14,9386
16,6050
15,3106
14,7751
16,2971
15,9940
17,3055

		GRUPO 4	
% POROSIDADE	CP	= (V cp úmido - V cp seco)*100/V cp seco	
	1	1,44 %	
	2	1,39 %	
	3	1,45 %	
	4	1,34 %	
	5	1,46 %	
	6	1,19 %	
	7	1,30 %	
MÉDIA		1,37 %	
DP		0,04	

2.2.3 Grupo 7

CP	PESO AR	PESO IMEDIATO	ÁGUA
1	19,6611	0,6901	
2	20,0567	3,1416	
3	19,4797	3,0157	
4	17,7896	2,7767	
5	19,2403	2,765	
6	19,1864	3,0014	
7	16,9822	1,9326	

VOLUME cp seco = Peso ar - Peso imediato água/ Densidade da água

18,9710
16,9151
16,4640
15,0129
16,4753
16,1850
15,0496

CP	PESO AR	PESO IMEDIATO	ÁGUA
1	19,8599	0,8473	
2	20,2677	3,2393	
3	19,6433	3,0928	
4	17,9716	2,8625	
5	19,4408	2,9321	
6	19,3696	3,0788	
7	17,1522	1,9707	

VOLUME cp úmido = Peso ar - Peso imediato água/ Densidade da água

19,0126
17,0284
16,5505
15,1091
16,5087
16,2908
15,1815

		GRUPO 7	
% POROSIDADE	= (V cp úmido - V cp seco)*100/V cp seco		
CP			
1		0,22 %	
2		0,67 %	
3		0,53 %	
4		0,64 %	
5		0,20 %	
6		0,65 %	
7		0,88 %	
MÉDIA		0,54 %	
DP		0,23	

2.2.4 Grupo 8

VOLUME cp seco = Peso ar - Peso imediato água/ Densidade da água

CP	PESO AR	PESO IMEDIATO ÁGUA	GRUPO 8
1	18,0576	2,8138	
2	19,9646	3,1264	
3	21,027	2,7548	
4	17,9275	2,7964	
5	20,3458	3,186	
6	19,9601	3,0427	
7	20,4195	3,2003	

15,2438
16,8382
18,2722
15,1311
17,1598
16,9174
17,2192

VOLUME cp úmido = Peso ar - Peso imediato água/ Densidade da água

CP	PESO AR	PESO IMEDIATO ÁGUA	GRUPO 8
1	18,3812	2,9522	
2	20,3259	3,2623	
3	21,4017	2,8896	
4	18,2652	2,9285	
5	20,7073	3,3267	
6	20,3051	3,257	
7	20,7685	3,3463	

15,4290
17,0636
18,5121
15,3367
17,3806
17,0481
17,4222

		GRUPO 8	
% POROSIDADE	= (V cp úmido - V cp seco)*100/V cp seco		
CP			
1		1,21 %	
2		1,34 %	
3		1,31 %	
4		1,36 %	
5		1,29 %	
6		0,77 %	
7		1,18 %	
MÉDIA		1,21 %	
DP		0,07	

Análise estatística

RESULTADOS GERAIS

Tabela 9 - Médias e desvios-padrão de coeficiente de difusão (D) e fator de porosidade (FP) para a resina Acron MC (polimerizada em microondas)

	Base		ISO	
	2 (0,50)	4 (1)	11 (0,75)	12 (1)
D	$3,49 \times 10^{-13}$ A	$2,50 \times 10^{-12}$ AB	$2,24 \times 10^{-12}$ AB	$3,72 \times 10^{-11}$ B
dp	$3,05 \times 10^{-14}$	$6,70 \times 10^{-13}$	$7,95 \times 10^{-13}$	$1,54 \times 10^{-11}$
FP	0,24 % A	1,37 % B	0,35 % A	0,19 % A
dp	0,05	0,05	0,08	0,55

Tabela 10 - Médias e desvios-padrão de coeficiente de difusão (D) e fator de porosidade (FP) para a resina Clássico (polimerizada em banho de água quente)

	Base		ISO	
	7 (0,75)	8 (1)	14 (0,50)	16 (1)
D	$1,32 \times 10^{-12}$ A	$2,85 \times 10^{-12}$ AB	$1,50 \times 10^{-12}$ AB	$3,43 \times 10^{-11}$ B
dp	$2,76 \times 10^{-13}$	$9,25 \times 10^{-13}$	$7,81 \times 10^{-13}$	$1,58 \times 10^{-11}$
FP	0,54 % A	1,21 % B	0,70 % A	1,32 % B
dp	0,23	0,07	0,21	0,27

* O realce em verde indica os grupos das aw ótimas.
Os números entre parênteses indicam as aw.
Letras iguais indicam semelhança estatística.

Autorizo a reprodução deste trabalho.
(Direitos de publicação reservados ao autor)

Araraquara, 05 de junho de 2008.

ANA CAROLINA PERO