



**SAULO GABRIEL MOREIRA FALCI**

**AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA E FOTOELÁSTICA DA  
FIXAÇÃO DAS FRATURAS DE SÍNFISE MANDIBULAR  
USANDO PARAFUSOS CANULADOS CÔNICOS**

Piracicaba

2014





**Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Odontologia de Piracicaba**

**SAULO GABRIEL MOREIRA FALCI**

**AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA E FOTOELÁSTICA DA  
FIXAÇÃO DAS FRATURAS DE SÍNFISE MANDIBULAR  
USANDO PARAFUSOS CANULADOS CÔNICOS**

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Clínica Odontológica, na Área de Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Faciais.

Orientador: Prof. Dr. Roger William Fernandes Moreira

Este exemplar corresponde à versão final da tese defendida por Saulo Gabriel Moreira Falci e orientada pelo Prof. Dr. Roger William Fernandes Moreira.

---

Assinatura do Orientador

Piracicaba  
2014

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Faculdade de Odontologia de Piracicaba  
Marilene Girello - CRB 8/6159

F181a Falci, Saulo Gabriel Moreira, 1983-  
Avaliação biomecânica e fotoelástica da fixação das fraturas de sínfise mandibular usando parafusos canulados cônicos / Saulo Gabriel Moreira Falci. – Piracicaba, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Roger William Fernandes Moreira.  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Fraturas mandibulares. I. Moreira, Roger William Fernandes, 1971-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Biomechanical and photoelastic evaluation of mandibular symphysis fracture fixation with cannulated conical screws

**Palavras-chave em inglês:**

Mandibular fractures

**Área de concentração:** Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Faciais

**Titulação:** Doutor em Clínica Odontológica

**Banca examinadora:**

Roger William Fernandes Moreira [Orientador]

Alessandro Costa da Silva

Raul Seabra Guimarães Neto

Paulo Henrique Ferreira Caria

Marcelo Marotta Araújo

**Data de defesa:** 11-02-2014

**Programa de Pós-Graduação:** Clínica Odontológica



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
Faculdade de Odontologia de Piracicaba



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Tese de Doutorado, em sessão pública realizada em 11 de Fevereiro de 2014, considerou o candidato SAULO GABRIEL MOREIRA FALCI aprovado.

Prof. Dr. ROGER WILLIAM FERNANDES MOREIRA

Prof. Dr. ALESSANDRO COSTA DA SILVA

Prof. Dr. RAUL SEABRA GUIMARÃES NETO

Prof. Dr. PAULO HENRIQUE FERREIRA CARIA

Prof. Dr. MARCELO MAROTTA ARAÚJO



## **Resumo**

O objetivo desse estudo foi comparar por meio de testes mecânicos e fotoelásticos o desempenho dos parafusos canulados cônicos utilizados na fixação de fraturas de sínfise mandibular com outros métodos de fixação. Dez mandíbulas de poliuretano foram utilizadas em cada grupo e fixadas da seguinte maneira: Grupo (PRP), duas miniplacas do sistema 2,0 mm, perpendiculares; Grupo (PLL), uma placa do sistema 2,4 mm e uma miniplaca do sistema 2,0 mm, paralelas; Grupo (PC), dois parafusos canulados cônicos do sistema 2,8 mm. Foram realizados testes de carregamento linear vertical em uma máquina de ensaio universal. O teste de ANOVA One-way e o teste de Tukey foram utilizados para verificar a diferença entre as médias. O teste fotoelástico foi realizado, com o auxílio de um polariscópio plano. Foi usada uma mandíbula de resina fotoelástica para cada grupo de fixação (PRP, PLL e PC). A avaliação dos dados do teste fotoelástico foi qualitativa e descritiva. Os resultados mostraram diferença entre os grupos (PC) e (PRP) nos deslocamentos de 1 mm ( $p=0,025$ ), 3 mm ( $p=0,013$ ), 5 mm ( $p=0,036$ ) e 10 mm ( $p=0,022$ ). No teste fotoelástico foi observada maior concentração de tensões na região próxima à base mandibular em todos os grupos. No grupo (PRP) e (PLL) foi observada maior concentração de tensões na região da placa mais próxima à base enquanto no grupo (PC) as franjas isocromáticas foram mais dispersas em toda região avaliada. De acordo com os resultados do estudo foi possível concluir que os parafusos canulados cônicos apresentaram um bom desempenho nos testes mecânicos e fotoelásticos, sendo uma opção viável para a fixação das fraturas de sínfise mandibular.

**Palavras-chaves:** fraturas mandibulares; sínfise; parafuso canulado.





## **Abstract**

The aim of this study was to compare by mechanical and photoelastic tests, the performance of the cannulated screws in mandibular symphysis fractures and compare them with other fixations methods. Ten polyurethane mandibles were used in each group and fixed as follows: Group (PRP) 2 2.0-mm perpendicular miniplates; Group (PLL) 1 2.0-mm miniplate and 1 2.4-mm bone plate, parallels; Group (CS) 2 2.8-mm cannulated screws. Vertical linear loading tests were performed in a universal testing machine. Differences among means were analyzed by the One-Way ANOVA and Tukey test. The photoelastic test was carried out using a plane polariscope. One photoelastic mandible resin was used for each fixation group (PRP, PLL and CS). Data evaluation of the photoelastic test was qualitative and descriptive. The results showed differences between (CS) and (PRP) groups in 1 mm ( $p=0.025$ ), 3 mm ( $p=0.013$ ), 5 mm ( $p=0.036$ ) and 10 mm ( $p=0.022$ ), of displacement. The photoelastic test showed higher stress concentration, in all groups, close to mandibular base. In (PRP) and (PLL) groups, the stress concentration was observed closest to the plate fixed in mandibular basis, while the (CS) group showed more dispersed isochromatic fringes throughout the evaluated region. According to the results of this study, it was concluded that conical cannulated screws performed well in mechanical and photoelastic test, being a viable method for fixation of mandibular symphysis fractures.

**Key-words:** mandibular fractures; symphysis; cannulated screw.



## Sumário

<b>DEDICATÓRIA</b> _____	xiii
<b>AGRADECIMENTOS ESPECIAIS</b> _____	xv
<b>AGRADECIMENTOS</b> _____	xvi
<b>LISTA DE TABELAS</b> _____	xviii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> _____	xix
<b>1 INTRODUÇÃO</b> _____	1
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> _____	4
<b>3 PROPOSIÇÃO</b> _____	20
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> _____	21
<b>5 RESULTADOS</b> _____	36
<b>6 DISCUSSÃO</b> _____	44
<b>7 CONCLUSÃO</b> _____	52
<b>REFERÊNCIAS</b> _____	53
<b>ANEXO 1</b> _____	63
<b>ANEXO 2</b> _____	68
<b>ANEXO 3</b> _____	73



## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à **Endi Lanza Galvão**, pelo apoio, companheirismo, carinho e compreensão que foram essenciais para a condução e término desse trabalho. Sem a sua presença na minha vida eu não teria conseguido.



## AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Agradeço primeiramente a **Deus**, por me conceder a possibilidade de galgar mais um degrau na vida acadêmica, sempre colocando as coisas em minha vida no tempo certo.

À minha mãe **Maria das Mercês Moreira**, pelo exemplo de vida, força, perseverança e fé, sempre presente em minha vida, me apoiando incondicionalmente nas minhas decisões com muita dedicação, amor e carinho.

Ao meu pai, **Carlos Antônio Ribas Falci**, que sempre me mostrou que estudar era o melhor caminho.

Aos meus irmãos **Samuel Henrique Falci** e **Salomão Emanuel Falci** pelo apoio, companheirismo, incentivo e admiração que sempre tiveram por mim.

Ao meu amigo e irmão, **Cássio Roberto Rocha dos Santos**, que gratuitamente sempre me ajudou para que eu pudesse alcançar não só esse título, mas tudo aquilo que sonhei e conquistei profissionalmente. Vejo em você um exemplo de vida e deixo aqui registrado o meu eterno agradecimento.

## AGRADECIMENTOS

À **Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP**, na pessoa do diretor desta unidade, Professor Dr. **Jacks Jorge Júnior**, por oferecer um curso de pós-graduação de excelência e possibilitar a minha qualificação profissional.

Ao **Prof. Dr. Roger William Fernandes Moreira** por ter me escolhido como orientado, pela compreensão das minhas necessidades, pela amizade e paciência.

Aos **membros do Departamento de Cirurgia e Traumatologia Buco-maxilo-facial**, da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, que com o seu trabalho diário, permitem um ótimo funcionamento desse setor, incluindo funcionários e professores.

Aos professores **Dr. João Sarmiento Pereira Neto, Dr. Fábio Ricardo Loureiro Sato e Dr. Valentim Adelino Ricardo Barão**, pela preciosa contribuição durante o exame de qualificação.

Ao **Departamento de Materiais Dentários** da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – Unicamp em nome do **Prof. Dr. Lourenço Correr Sobrinho** pela possibilidade de realização dos experimentos no laboratório do departamento.

Ao engenheiro **Tóride Sebastião Calegatti Filho**, pela doação do material de osteossíntese utilizado nessa pesquisa.

Ao engenheiro **Marcos Bianco Cangini**, do Departamento de Materiais Dentários da FOP-UNICAMP pelo auxílio e prestatividade durante a realização dos testes mecânicos.



À **Faculdade de Odontologia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri**, onde dei os meus primeiros passos dentro da Odontologia, e depois retornei para lapidar meus conhecimentos acadêmicos no mestrado, meu eterno agradecimento.

À **Faculdade de Odontologia da UFMG**, onde consegui o título de especialista em Cirurgia e Traumatologia Buco-maxilo-faciais.

Ao professor **Dr. Oslei Paes de Almeida** pelo apoio concedido desde a época do mestrado até agora.

Ao **Dr. Fábio Ricardo Loureiro Sato** pelos ensinamentos nas cirurgias realizadas em São Paulo e por sempre estar totalmente disponível quando solicitado.

A todos os colegas do curso do mestrado e doutorado em Cirurgia e Traumatologia Buco-maxilo-facial da FOP-UNICAMP, em especial, **Érica Cristina Marchiori, Danilo Costa Rodrigues, Cristina Jardelino de Lima, Marcelo Breno Meneses Mendes, Douglas Rangel Goulart e Eder Alberto Sigua Rodrigues** pelo companheirismo e apoio durante o curso.

Aos **pacientes** que atendi durante o curso, que são fundamentais na formação cirúrgica, obrigado pela confiança.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Grupos de estudo com descrição dos materiais e métodos de fixação	23
Tabela 2 -	Comparação da força de resistência entre os parafusos canulados e os sistemas de placas e parafusos	40



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Parafuso canulado esponjoso, (A) cabeça; (B) haste lista; (C) ponta ativa de rosqueamento.....	11
Figura 2	Parafuso canulado do tipo Herbert, (A) ponta ativa de rosqueamento, base; (B) haste lista; (C) ponta ativa de rosqueamento, ápice. Notar a diferença entre o espaçamento das espiras do ápice para a base.....	12
Figura 3	Parafuso canulado cônico, (A) base, com maior diâmetro que o ápice; (B) haste espiralada; (C) ápice, com menor diâmetro que a base. Notar a diferença entre o espaçamento das espiras do ápice para a base.....	13
Figura 4	(A) Placa e parafuso do sistema 2,4 mm; (B) Miniplaca e parafuso do sistema 2,0 mm; (C) Parafuso canulado cônico do sistema 2,8 mm, observar a cânula do parafuso pela introdução de um fio ortodôntico.....	21
Figura 5	(A) Mandíbula fixada com duas miniplacas do sistema 2,0 mm conforme descrito no grupo (PRP), visão frontal. (B) Mandíbula fixada conforme descrito para o grupo (PRP) visão inferior.....	24
Figura 6	Mandíbula fixada com uma placa do sistema 2,0 mm e outra placa do sistema 2,4 mm conforme descrito no grupo (PLL).....	24
Figura 7	Mandíbula fixada com dois parafusos canulados do sistema 2,8 mm conforme descrito no grupo (PC). (A) visão em $\frac{3}{4}$ do lado direito; (B) visão em $\frac{3}{4}$ do lado esquerdo.....	25
Figura 8	Evidenciação do posicionamento das placas e das brocas para os grupos (PRP, PPL e PC), antes da confecção do guia. Observar a presença do corte parcial que foi realizado para simular a fratura da sínfise mandibular.....	26
Figura 9	Guia de resina acrílica incolor sendo confeccionado. (A) visão frontal; (B) visão inferior. Observar o posicionamento das placas e das brocas incluídos no guia.....	27
Figura 10	Guia de resina acrílica. (A) posicionamento da miniplacas e placas incluídas no guia; (B) guia cirúrgico após as perfurações, visão inferior; (C) guia cirúrgico após	

	perfurações, visão frontal; (D) guia cirúrgico mostrando a perfuração lateral para instalação dos parafusos canulados.....	<b>28</b>
Figura 11	(A) Guia de resina adaptado na mandíbula após a realização do corte sagital. (B) Guia de resina após a remoção da mandíbula, mostrando as perfurações e o corte sagital.....	<b>29</b>
Figura 12	Mandíbula fixada ao suporte metálico de forma compressiva englobando o côndilo e a base do lado direito.....	<b>31</b>
Figura 13	Mandíbula posicionada perpendicularmente à ponta do dispositivo de carregamento na máquina de ensaio mecânico..	<b>32</b>
Figura 14	Vista lateral do modelo do polariscópio utilizado na análise fotoelástica. Fonte: de Assis, 2012.....	<b>33</b>
Figura 15	Média dos valores de resistência em Newtons, dos grupos estudados, com 1, 3, 5, 7 e 10 mm de deslocamento.....	<b>36</b>
Figura 16	Gráfico Box Plot, mostrando a dispersão dos valores de resistência, mediana, quartis, limites superior e inferior em todos os deslocamentos. Observar que quanto maior o deslocamento, maior a resistência e maior a dispersão da resistência.....	<b>38</b>
Figura 17	Fotografia do teste fotoelástico no grupo (PRP). (A) antes do deslocamento; (B) após o deslocamento de 5 mm.....	<b>43</b>
Figura 18	Fotografia do teste fotoelástico no grupo (PLL). (A) antes do deslocamento; (B) após o deslocamento de 5 mm.....	<b>43</b>
Figura 19	Fotografia do teste fotoelástico no grupo (PC). (A) antes do deslocamento; (B) após o deslocamento de 5 mm.....	<b>43</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A fratura da mandíbula é uma das mais prevalentes do esqueleto facial. Esse tipo de fratura acomete tanto moradores dos grandes centros quanto indivíduos do interior (Batista et al., 2006). No Brasil a maior prevalência desse tipo de fratura pode ser encontrada tanto em crianças e adolescentes (Chrcanovic et al., 2010) quanto em adultos (Chrcanovic et al., 2004). Além disso, países emergentes como Índia (Gandhi et al., 2011), Turquia (Erol et al., 2004) e desenvolvidos como o Japão (Iida et al., 2001) apresentam resultados similares com relação à prevalência das fraturas mandibulares. A sínfise mandibular é uma região que apresenta taxas de prevalência variando entre 13,8% (Brasileiro & Passeri, 2012) e 49,5% (Gandhi et al., 2011) das regiões mandibulares fraturadas. Dessa forma, o tratamento das fraturas de sínfise mandibular é um tema importante que deve ser amplamente pesquisado.

O tratamento cirúrgico das fraturas de sínfise mandibular consiste na redução anatômica e fixação dos cotos fraturados devolvendo, imediatamente ou precocemente à região fraturada, contorno e função. Entre as técnicas de fixação existentes as mais utilizadas são: miniplacas e parafusos, placas e parafusos e a técnica de *Lag-Screw* (Ehrenfeld & Prein, 2012). Para avaliar o desempenho desses métodos de fixação, estudos clínicos (Ellis, 2011; Ellis, 2012) e laboratoriais (Madsen et al., 2008; Vieira-Oliveira & Passeri, 2011), foram realizados. O desempenho clínico, para fixação das fraturas de mandíbula, tanto usando parafusos *Lag-screw*, quanto usando placas e parafusos apresentaram bons resultados. Foi observada maior dificuldade cirúrgica durante a instalação

dos parafusos *Lag-screw* do que as miniplacas. Entretanto, a aplicação dos parafusos de *Lag-screw* foi associada a menor índice de complicações (Ellis, 2011). Nos testes laboratoriais também foi observado melhor desempenho dos parafusos *Lag-screw* nas fraturas de sínfise, pois eles apresentaram uma maior resistência mecânica às forças de compressão (Madsen et al., 2008; Vieira-Oliveira & Passeri, 2011). Esses testes laboratoriais são os ensaios mecânicos que utilizam máquinas de teste universais, onde são acopladas mandíbulas pré-fabricadas, com módulos de elasticidade semelhante ao osso, podendo assim, avaliar o comportamento dos diferentes sistemas de fixação (Vieira-Oliveira & Passeri, 2011). Outro método de avaliação do comportamento mecânico na fixação das fraturas de mandíbula são os testes fotoelásticos. Eles são usados para a visualização de franjas isocromáticas nos locais onde as tensões são distribuídas, permitindo uma avaliação do comportamento mecânico dos sistemas de fixação (Christopoulous et al., 2012; Lima Jr et al., 2011; Sato et al., 2010; Rudman et al., 1997).

Os parafusos canulados são parafusos que possuem um orifício no sentido longitudinal, da base para o ápice, onde podem ser inseridos fios para guiar a inserção do mesmo, durante o ato cirúrgico (Pilling et al., 2006; Geissler, 2006; Loukota, 2007). Eles são originalmente usados para a realização de artrodese das articulações dos dedos (Schmidt et al., 2004; Messer et al., 2002) e fixação percutânea das fraturas dos dedos e dos ossos da mão (Chou et al., 2012; Geissler, 2006). Na região bucomaxilofacial os parafusos canulados foram utilizados para a fixação de fraturas intracapsulares de côndilo mandibular. A utilização desse parafuso nesses casos foi guiada por um fio de Kirschner e



permitiu a fixação dessas fraturas através de um pequeno acesso pré-auricular (Pilling et al., 2006; Loukota, 2007). Entretanto, de acordo com a literatura consultada, não existem evidências de que esse tipo de parafuso foi utilizado nas fraturas da sínfise mandibular. Além disso, a aplicação desse parafuso pode ser mais simples do que a aplicação dos parafusos do tipo *Lag-screw* que são atualmente utilizados em fraturas de sínfise (Ellis, 2012). Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar através de testes mecânico e fotoelástico o comportamento dos parafusos canulados quando usados na fixação das fraturas de sínfise mandibular e compará-los com outros métodos de fixação.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Classificação e epidemiologia das fraturas de sínfise mandibular**

A sínfise mandibular é a região da mandíbula que contém as raízes dos incisivos centrais e a parassínfise mandibular a região entre os incisivos laterais e caninos. As fraturas nessa região podem ser lineares ou oblíquas. Geralmente, essas fraturas são simples, sendo raras fraturas cominutivas e com perdas de segmentos ósseos. Ocasionalmente, pode apresentar dois traços de fratura na base mandibular, caracterizada pela presença de um fragmento, podendo estar associado à musculatura supra-hióide (Ehrenfeld & Prein, 2012).

Por ser um osso de projeção na face, a mandíbula apresenta alta prevalência entre os ossos fraturados do esqueleto facial. Um estudo realizado no Brasil mostrou que a fratura de mandíbula acometeu 44,2% de um total de 1399 fraturas de face diagnosticadas (Brasileiro & Passeri, 2006). Essas fraturas acometem tanto indivíduos de grandes centros, quanto moradores da zona rural. Com relação à faixa etária, as fraturas mandibulares são observadas tanto em crianças e adolescentes, quanto em indivíduos adultos (Chrcanovic et al., 2004; Chrcanovic et al., 2010; Batista et al., 2012). Além disso, outros países emergentes, como Índia e Turquia, e também países desenvolvidos como Japão, apresentam resultados similares aos encontrados no Brasil, com relação à prevalência das fraturas mandibulares (Iida et al., 2001; Erol et al., 2004; Gandhi et al., 2011).

A fratura da sínfise mandibular é qualquer fratura na região dos incisivos que se estende do processo alveolar pela borda inferior da mandíbula numa direção vertical ou quase vertical (Miloró et al., 2008; Ehrenfeld & Prein, 2012). Estudos epidemiológicos que avaliaram a prevalência das fraturas da sínfise mandibular encontraram resultados que variam entre 13,8 % a 49,5% das fraturas de mandíbula (Brasileiro & Passeri, 2006; Gandhi et al., 2011). A fratura de sínfise mandibular pode ocorrer isoladamente ou em associação com fraturas em outros locais da mandíbula. Essa associação pode ser muito frequente, podendo chegar a 49% das fraturas mandibulares (Passeri et al., 1993). A causa mais comum das fraturas da sínfise mandibular parece ser os acidentes automobilísticos, pois um estudo relatou que a sínfise mandibular foi a mais atingida (29,7%) entre as fraturas de mandíbula causadas por esse agente etiológico (Fridrich, et al., 1992).

## **2.2 Técnicas de fixação interna em fraturas de sínfise mandibular**

O princípio geral do tratamento das fraturas da região bucomaxilofacial também deve ser seguido no tratamento das fraturas de sínfise mandibular. Esse princípio consiste na redução anatômica dos cotos fraturados e fixação dos segmentos, devolvendo, imediatamente ou precocemente à região fraturada, contorno e função (Mathog et al., 2000; Ehrenfeld et al., 2012). Seguindo esses princípios, podem ser evitadas complicações como infecção, interposição de tecidos moles e pseudoartrose (Laughlin et al., 2007).

O tratamento para a fratura de sínfise mandibular mais adequado, atualmente, é por meio da exposição cirúrgica dos cotos fraturados e fixação

interna por placas e parafusos (Manganello-Souza & de Cerqueira-Luz, 2006). Essa opção de tratamento tem a vantagem de permitir uma função estável e precoce dos segmentos fraturados, além de diminuir o tempo de permanência com o bloqueio maxilo-mandibular (Raveh et al., 1987).

Assim como em toda a mandíbula, a sínfise mandibular é um local que sofre ação das forças exercidas pelos músculos da mastigação como masseter, pterigoideo e temporal. Entretanto, as fraturas de sínfise e parassínfise são particularmente problemáticas, pois os vetores de força exercidos nessa região causam uma reação contrária a outras regiões da mandíbula como no corpo e ramo. A região da sínfise mandibular, quando submetida à carga, semelhante à força exercida pela mastigação, na região dos molares, sofre uma alta força de torção. Além disso, as forças musculares tendem a separar a borda inferior da mandíbula no local da fratura (Tams et al., 1997).

Antes do desenvolvimento das técnicas de fixação interna rígida, as fraturas da mandíbula eram classificadas como desfavoráveis ou favoráveis ao tratamento. Com o advento da fixação interna rígida o conceito de fratura favorável ou desfavorável ao tratamento foi substituído. Atualmente, os conceitos de regiões com zonas de tensão e regiões com zonas de compressão são mais utilizados para guiar o tratamento, das fraturas mandibulares, através da fixação interna das mesmas (Schmoker, 1976; Spiessl, 1976). As zonas de compressão e tensão nas fraturas do corpo e do ramo mandibular estão nas bordas inferiores e superiores, respectivamente. Entretanto, como nas fraturas da sínfise mandibular a tendência é que haja uma separação na borda inferior dos cotos fraturados, esse conceito é invertido. Dessa forma, na sínfise mandibular, a compressão da fratura ocorre na

borda superior, enquanto a tensão ocorre na borda inferior da fratura (Rudderman & Mullen, 1992).

A técnica de fixação mais utilizada no tratamento das fraturas de sínfise mandibular é através do uso de miniplacas do sistema 2,0 mm. A técnica padrão consiste na fixação de duas miniplacas de 4 ou 5 furos, paralelas, uma posicionada na borda inferior e a outra posicionada na porção central da mandíbula abaixo das raízes dentárias. A fixação da miniplaca posicionada na porção mais superior da mandíbula deve ser realizada com parafusos monocorticais, devido a presença das raízes dentárias, enquanto da miniplaca posicionada na borda inferior pode ser realizada tanto com parafusos monocorticais quanto com bicorticais (Schilli, 1998; Ehrenfeld & Prein, 2012). Em um estudo utilizando costelas bovinas, Trivellato e Passeri, (2006), comprovaram a melhor resistência em simulações de fraturas fixadas com duas miniplacas de titânio do sistema 2,0 mm quando dispostas paralelamente, uma na zona de tensão e outra na zona de compressão. Esse método é utilizado para minimizar a força de torção que é exercida na região anterior da mandíbula, quando a carga é submetida na região dos molares (Tams et al., 1997). Com a finalidade de verificar a taxa de complicações com o uso de duas placas paralelas, um estudo comparando o uso de duas miniplacas com uma única placa mais forte do sistema 2,0 mm *locking* revelou que esses dois tipos de tratamento possuíam pequena taxa de complicações (Ellis, 2011). Outra técnica descrita para a utilização de duas miniplacas é através do posicionamento perpendicular entre elas. Em um estudo por elementos finitos, foram verificados resultados satisfatórios com o posicionamento perpendicular das duas miniplacas de 4 furos, fixadas com

parafusos monocorticais (Akiko et al., 2006). Nesse estudo, uma das placas era colocada na borda superior, logo abaixo das raízes dentárias, e outra na superfície inferior da mandíbula. Esse grupo, apesar de não apresentar diferença estatisticamente significativa, apresentou um menor deslocamento dos fragmentos fraturados que o grupo das placas paralelas. Outro estudo corroborou os resultados do anterior através de testes mecânicos. Apesar de não haver diferença estatisticamente significativa entre o grupo das placas paralelas e perpendiculares, o grupo das placas perpendiculares apresentou maior média de resistência que o grupo das placas paralelas (Vieira-Oliveira & Passeri, 2011).

Outro método de fixação utilizado é através da fixação com uma placa compressiva do sistema 2,4 mm instalada no centro da sínfise. Nesse tipo de fixação, a excentricidade da instalação dos parafusos e o formato do orifício da miniplaca, permite uma compressão dos segmentos fraturados. Quando existe um splint na região superior da mandíbula, que possa minimizar o deslocamento da borda superior da mandíbula, essa placa é instalada no centro da sínfise a uma distância segura das raízes dos incisivos inferiores, e é suficiente para neutralizar as forças em um padrão normal. Quando não existe a possibilidade de instalação do splint, uma miniplaca do sistema 2,0 mm deve ser colocada na borda superior e a placa compressiva do sistema 2,4 mm instalada na borda inferior, paralelamente (Ehrenfeld & Prein, 2012). Outro tipo de fixação das fraturas de sínfise mandibular que possui um resultado semelhante é a fixação rígida através da utilização de uma placa de reconstrução na borda inferior da sínfise mandibular (Ellis, 2011). É válido salientar que, quando além da fratura de sínfise, o paciente apresenta fratura em outra região mandibular, o tipo de fixação deve ser diferente do padrão

utilizado para fraturas isoladas da mandíbula, exigindo que seja utilizada uma fixação rígida, com uma placa mais resistente, em pelo menos um dos locais da fratura (Ellis, 2012).

Recentemente, as placas 3-D foram sugeridas para o tratamento de fraturas mandibulares. As vantagens desse tipo de fixação sobre as miniplacas do sistema 2,0 mm são: estabilidade, boa resistência contra forças de torque e redução na taxa de infecção (Goyal, et al., 2011). Um estudo com o objetivo de avaliar e comparar as complicações pós-operatórias no tratamento de fraturas mandibulares, revelou que as fraturas de sínfise e parassínfise, podem ser mais bem tratadas com as placas 3-D locking (Sadhvani & Anchlia, 2013).

A osteossíntese através da técnica de *Lag-Screw* é uma fixação compressiva dos segmentos fraturados. Em fraturas dos ossos da face essa técnica é utilizada quase exclusivamente para fraturas de sínfise mandibular (Ellis & Ghali, 1991). Geralmente, a técnica é realizada através da instalação de dois parafusos do sistema 2,4 mm, ou a instalação de um parafuso do sistema 2,4 mm e um splint na borda superior. Quando dois parafusos são utilizados, um deles é instalado na borda inferior e o outro, alguns milímetros acima do primeiro, respeitando a distância de segurança das raízes dentárias. Para o sucesso da realização da técnica de *Lag-Screw*, os passos cirúrgicos devem ser seguidos com cuidado. Após a redução dos fragmentos, o fragmento proximal da fratura é perfurado através da utilização de um guia com uma broca do sistema 2,4 mm, perfurando somente o fragmento proximal. Depois de completada essa perfuração, uma broca do sistema 1,8 mm é inserida no mesmo orifício para completar a perfuração agora no fragmento distal. Ao finalizar a perfuração dos

dois segmentos, uma broca de *countersink* é usada no fragmento proximal, para adaptar a cabeça do parafuso dentro do osso, permitindo que os fragmentos ósseos sejam comprimidos entre si (Ehrenfeld & Prein, 2012). Estudos mecânicos realizados para simular os métodos de fixação em fraturas de sínfise mandibular mostraram que os parafusos de *Lag-Screw*, conferem uma maior força de resistência do que outros métodos de fixação, quando a compressão mecânica é realizada na região dos molares (Vieira-Oliveira & Passeri, 2011; Madsen et al., 2008). A técnica de *Lag-Screw* foi avaliada em fraturas mandibulares de 315 pacientes. As vantagens da técnica de *Lag-Screw* em relação à instalação das miniplacas descritas pelo autor são a aplicação mais rápida e o deslocamento mínimo dos segmentos ósseos (Ellis, 1997). Em estudo mais recente, o mesmo autor mostrou bons resultados comparando a técnica de *Lag-screw* com a fixação através de placas e parafusos em fraturas de sínfise mandibular. Relatou ainda maior dificuldade em instalar os parafusos de *Lag-screw* do que as placas e parafusos. Por outro lado, os parafusos de *Lag-screw* apresentaram menores complicações pós-operatórias (Ellis, 2012).

### **2.3 Parafusos canulados**

Os parafusos canulados são originalmente utilizados em ortopedia para fixação de diversos ossos como, Tálus (Capelle et al., 2013), metacarpo e falange (Geissler WB, 2006; Boulton et al., 2010), patela (Domby et al., 2012) e processo odontóide (Duransoy et al., 2013). Outra indicação observada dos parafusos



canulados é na realização de artrodeses de articulações dos dedos das mãos (Schmidt et al., 2004; Messer et al., 2002).

No mercado brasileiro, existem vários tipos de parafusos canulados comercializados. Os mais comumente encontrados são os parafusos esponjosos canulados, parafusos tipo Herbert canulados e parafusos cônicos canulados.

Os parafusos esponjosos canulados possuem uma cabeça, uma haste lisa e uma ponta ativa de rosqueamento (Figura 1). O diâmetro varia de 2,8 mm a 7,0 mm e o comprimento entre 10,0 e 120,0 mm dependendo do diâmetro do parafuso. A ponta ativa de rosqueamento varia de 4,0 a 20,0 mm, dependendo também do diâmetro do parafuso.

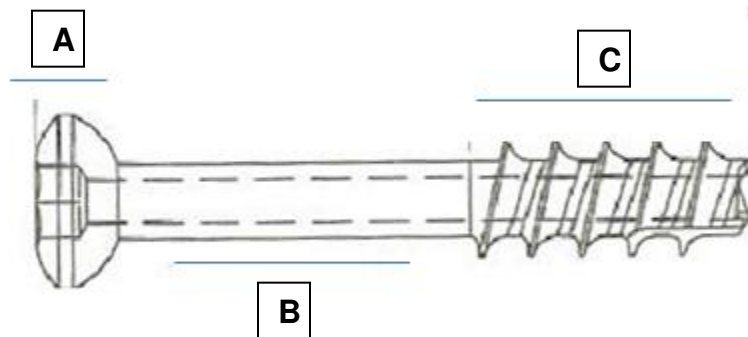


Figura 1 – Parafuso canulado esponjoso, (A) cabeça; (B) haste lisa; (C) ponta ativa de rosqueamento. Fonte: Tóride Ind. Com. Ltda. EPP, Mogi-Mirim – SP – Brasil.

Os parafusos do tipo Herbert canulados não possuem cabeça e têm duas pontas ativas de rosqueamento, uma no ápice e outra na base, e uma haste lisa intermediária (Figura 2). As espiras das pontas ativas de rosqueamento são mais espaçadas no ápice do parafuso do que na base. O diâmetro é geralmente de 3,5 mm ou 4,5 mm e o comprimento varia entre 10,0 e 70,0 mm dependendo do

diâmetro do parafuso. O comprimento das pontas ativas de rosqueamento da base variam entre 4,0 mm e 5,0 mm e das pontas ativas de rosqueamento do ápice variam entre 4,0 mm e 30,0 mm também dependendo do diâmetro do parafuso.

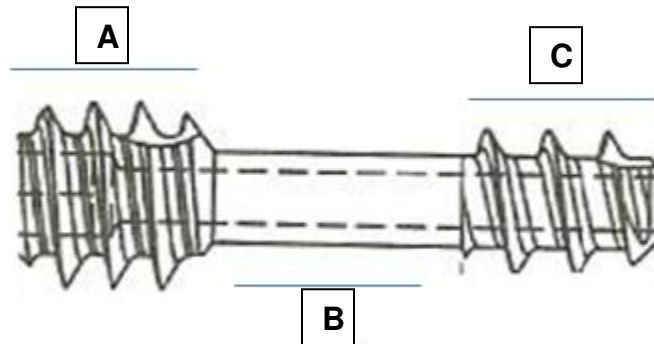


Figura 2 – Parafuso canulado do tipo Herbert, (A) ponta ativa de rosqueamento, base; (B) haste lisa; (C) ponta ativa de rosqueamento, ápice. Notar a diferença entre o espaçamento das espiras do ápice para a base. Fonte: Tóride Ind. Com. Ltda. EPP, Mogi-Mirim – SP – Brasil.

O parafuso canulado cônico também não possui cabeça e difere do parafuso Herbert canulado por não possuir a haste lisa intermediária. O parafuso é totalmente coberto por espiras e as espiras localizadas no ápice do parafuso são mais espaçadas que as localizadas na base, além disso, a base possui um diâmetro maior que o ápice (Figura 3). O diâmetro varia entre 2,8 mm e 5,0 mm na base e 2,3 mm e 4,0 mm no ápice. O comprimento varia entre 10,0 e 50,0 mm dependendo do diâmetro.

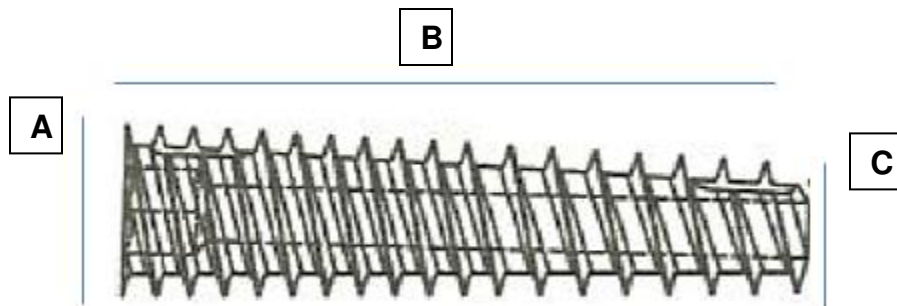


Figura 3 – Parafuso canulado cônico, (A) base, com maior diâmetro que o ápice; (B) haste espiralada; (C) ápice, com menor diâmetro que a base. Notar a diferença entre o espaçamento das espiras do ápice para a base. Fonte: Tóride Ind. Com. Ltda. EPP, Mogi-Mirim – SP – Brasil.

O princípio de ação dos parafusos canulados é propiciar a compressão dos segmentos fraturados. O parafuso canulado esponjoso confere a compressão dos segmentos fraturados através da presença da cabeça do parafuso, semelhante à técnica de *Lag-screw* descrita anteriormente. Os parafusos do tipo Herbert, proporcionam a compressão dos fragmentos fraturados em virtude da diferença entre o espaçamento das roscas do ápice e da base do parafuso (Capelle et al., 2013). Nesse estudo, foi comparada a força de fixação mecânica dos parafusos canulados cônicos com os parafusos canulados esponjosos convencionais. Os resultados mostraram que o parafuso canulado cônico foi significativamente melhor quando avaliada a falha do sistema por deslocamento dos segmentos fraturados em fraturas de Tálus. Além da melhor resistência ao deslocamento dos cotos fraturados, os autores ainda consideram que o parafuso canulado cônico sem cabeça é melhor que o parafuso canulado esponjoso nessa região, por não apresentar cabeça, o que poderia diminuir o risco de lesão nas articulações adjacentes (Capelle et al., 2013).

Outro estudo avaliou a fixação de fratura do colo do tálus, através do uso dos parafusos canulados cônicos sem cabeça. Esse tipo de fratura apresenta urgência na redução e fixação interna dos fragmentos fraturados. A redução aberta é a convencionalmente adotada. Entretanto, o tratamento percutâneo através da inserção de parafusos canulados foi avaliado e os resultados mostraram um alto índice de satisfação e retomada de todas as atividades normais anteriores ao trauma (Abdelgaid & Ezzat, 2012).

O úmero distal, quando fraturado, é também uma região de aplicação dos parafusos canulados para fixação da fratura. Há relato na literatura da redução e fixação fechada através do acesso percutâneo com uso do parafuso canulado. Watford et al., (2009) concluíram que essa técnica é segura e eficaz para fraturas do úmero proximal em pacientes cuidadosamente selecionados.

Assim como em fraturas do úmero os parafusos canulados também podem ser utilizados para a redução e fixação dos cotos fraturados em cirurgia de fratura dos dedos das mãos, através de acesso percutâneo. A técnica foi descrita através da utilização de um intensificador de imagens, e guias de fios de aço que foram inseridos dentro do orifício do parafuso canulado (Geissler, 2006).

Na região bucomaxilofacial, o uso do parafuso canulado foi descrito poucas vezes. Um parafuso do tipo Herbert canulado, foi utilizado para a fixação de uma fratura intracapsular do côndilo mandibular. A técnica descrita é semelhante à descrita para fraturas dos dedos das mãos, utilizando fios de aço como guias cirúrgicos para a inserção dos parafusos (Loukota, 2006). Outro trabalho semelhante utilizou a mesma técnica, para fixação de fratura intracapsular do

côndilo mandibular, entretanto, o parafuso canulado instalado foi o esponjoso (Pilling et al., 2006).

#### **2.4 Estudos mecânicos em fraturas de sínfise mandibular.**

Com objetivo de simular o comportamento mecânico e avaliar a resistência de vários métodos de fixação óssea da região da sínfise mandibular, alguns métodos de avaliação foram realizados. O teste realizado com maior frequência para avaliar a resistência dos métodos de fixação óssea na mandíbula, é através de uma máquina servohidráulica de carregamento universal da marca Instron, modelo 4411 (Instron Corp., Norwood, NA, EUA). Alguns trabalhos que utilizaram essa metodologia em fraturas de sínfise mandibular são citados na literatura (Madsen et al., 2008; Vieira e Oliveira & Passeri, 2011).

Para a realização dos testes, são confeccionados suportes metálicos que fixam a mandíbula para que a mesma receba as cargas compressivas para a avaliação das forças de resistência. A máquina Instron, pode ser programada para aplicação de força linear. A quantidade de força e a velocidade do deslocamento também podem ser programadas. Durante a execução do teste, a máquina registra constantemente a quantidade de força imprimida. No final do teste, a máquina fornece o resultado dos valores de força aplicados e dos valores absolutos, em cada deslocamento solicitado pelo operador, em forma de gráfico e em tabelas.

Outro método mecânico utilizado para comparar as fixações em fraturas de sínfise mandibular é através da análise por elementos finitos. Esse teste permite

criar através de programas de computador, modelos tridimensionais de estruturas da face, como a mandíbula, e simular fraturas e a fixação das mesmas avaliando a distribuição de tensões, quando o sistema é aplicado à tensão. Esse método fornece informações úteis, tais como o comportamento do sistema como um todo durante a aplicação das forças. Akiko et al., (2006) avaliaram a fixação de fraturas da sínfise mandibular por três sistemas de fixação com placas e parafusos. Eles compararam a aplicação de uma miniplaca na zona neutra com duas miniplacas aplicadas de modo paralelas e em seguida perpendiculares. Esses autores concluíram que as miniplacas dispostas de maneira perpendicular apresentavam um menor deslocamento vertical e quando aplicadas a pressão e menor tensão ao redor dos parafusos e nos orifícios feitos para instalação dos mesmos. Lovald et al., (2010), usaram esse método mecânico para desenvolver um desenho de miniplaca que proporcionasse uma diminuição das taxas de complicações quando comparada aos sistemas de fixação convencionalmente utilizados. Esses autores apresentaram uma miniplaca com formato semelhante a duas miniplacas retas de quatro furos com extensão, unidas no centro por uma haste metálica em forma de X.

Os parafusos de *Lag-Screw* utilizados para a fixação de fraturas da sínfise mandibular também foram avaliados pelo método de elementos finitos. A maioria dos sistemas de aplicação dos parafusos de *Lag-Screw* preconizam a realização de um orifício através de uma broca *countersink* para acomodação da cabeça do parafuso e conseqüente compressão dos fragmentos. Terheyden et al., (1999) demonstraram através do estudo por elementos finitos que a carga nesta situação

pode exceder a resistência à tensão normal do metal e osso. Dessa forma, foi sugerido um novo dispositivo que possui uma auto adaptação na cortical óssea.

## **2.5 Análise fotoelástica em cirurgia bucomaxilofacial**

O princípio da análise fotoelástica se baseia na mudança dos índices de refração da luz em materiais transparentes, principalmente plásticos, quando esses são submetidos a uma tensão. O material fotoelástico com característica transparente e com ausência de tensões permite que a luz passe por ele sem sofrer refração. Quando o mesmo é submetido a tensões, a mesma fonte de luz refrata em contato com os pontos de tensão, originando um sistema de cores. As cores dessa refração de luz variam do vermelho, com comprimento de onda entre 630 e 700 nm, ao violeta com comprimento de onda de 400 e 450 nm. Assim, quando imprimimos certa tensão em um modelo fotoelástico, utilizando uma fonte de luz branca, essa fonte de luz, ao passar pelo modelo, sofre refração e os efeitos ópticos se manifestam como franjas coloridas (Dally & Rilley, 1978).

Para a visualização da refração da luz que passa pelo modelo fotoelástico que possui tensão/deformação, são necessários filtros. Esses filtros são chamados polariscópios e promovem a polarização da luz que o atravessa. A luz polarizada permite a observação das tensões como diferenças de cores (Araújo et al., 2004). Os polariscópios planos são usados para análise fotoelástica em cirurgia bucomaxilofacial. Esse é constituído de uma fonte de luz e duas placas polarizadoras. Nessa situação, caso não haja uma tensão sobre o modelo fotoelástico, a intensidade de luz que emergirá do polariscópio será zero ou

ausência de luz. Ao contrário, caso haja tensão sobre o modelo, a luz emergirá do polariscópio apresentando as luzes e suas cores de acordo com o nível de intensidade (Araújo, et al., 2004).

As vantagens da utilização dos testes fotoelásticos são a facilidade de uso, baixo custo em relação a outras técnicas mecânicas, e permitir uma visão geral da distribuição das forças sobre o objeto de estudo. Por outro lado, as desvantagens são a impossibilidade de utilização in vivo e a presença de tensão residual em algumas áreas o que dificulta a interpretação dos resultados (Karl et al., 2009).

A análise de distribuição de tensões através de testes fotoelásticos é amplamente utilizada em cirurgia bucomaxilofacial. Em implantodontia, um estudo com o objetivo de comparar a distribuição de forças entre diferentes sistemas de implantes, através da análise fotoelástica, verificou que os implantes do tipo cone morse apresentaram uma distribuição de tensões mais favorável entre os grupos testados (Pellizzer et al., 2011). Outro estudo com o objetivo de avaliar a distribuição de forças comparando implantes angulados verificou que os implantes com angulação de 35° apresentou melhor distribuição de forças que os implantes com angulação de 15° (Cidade, 2012). Figueiredo (2012), comparou os implantes curtos com implantes longos e observou que os implantes curtos estão sujeitos a maior tensão em consequência das cargas oblíquas e axiais quando comparados com os implantes longos.

A cirurgia ortognática também já foi avaliada através da análise de distribuição de tensões por modelos fotoelásticos. Lima et al. (2011), avaliaram a distribuição de tensões na maxila após a realização da técnica de expansão cirúrgica e concluíram que o tensão sobre os dentes ancorados com aparelhos



expansores foi diminuída após osteotomia da junção ptérigomaxilar. Além das expansões maxilares, as fixações da osteotomia sagital da mandíbula também já foram analisadas através de estudos fotoelásticos. Sato et al., (2010) avaliaram através dos testes fotoelásticos os avanços de mandíbula com quatro tipos de fixações diferentes: de 3 parafusos bicorticais em linha inseridos em um ângulo de 60°, 3 parafusos bicorticais em linha inseridos em um ângulo de 90°, 3 parafusos bicorticais dispostos em L invertido e uma placa reta de quatro furos com ponte.

A traumatologia é outro campo da cirurgia bucomaxilofacial que utilizou a análise fotoelástica para a avaliação da distribuição de tensões (Rudman et al., 1997; de Assis, 2012; Christopoulos et al., 2011). Em fraturas subcondilares Christopoulos et al., (2011), mostraram que a fixação dessas fraturas era melhor alcançada com a utilização de duas placas e parafusos. Entretanto, esse parece ser o primeiro estudo que avaliou a fixação das fraturas de sínfise mandibular através da análise fotoelástica.

### **3 PROPOSIÇÃO**

Esse estudo teve como proposta avaliar a resistência mecânica das fraturas de sínfise mandibular fixadas com parafusos canulados e comparar essa resistência com a de outros métodos de fixação descritos na literatura. Além disso, foi avaliado também o comportamento da distribuição de tensões, através de análise fotoelástica.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Materiais de osteossíntese

Para a realização deste estudo foram utilizados:

- 10 placas retas de 4 furos do sistema 2,4 mm (Figura 4A);
- 30 miniplacas retas de 4 furos do sistema 2,0 mm (Figura 4B);
- 120 parafusos monocorticais com 5,0 mm de comprimento do sistema 2,0 mm (Figura 4B);
- 40 parafusos bicorticais com 11,0 mm de comprimento do sistema 2,4 mm (Figura 4A);
- 20 parafusos canulados cônicos com 28,0 mm de comprimento do sistema 2,8 mm (Figura 4C).

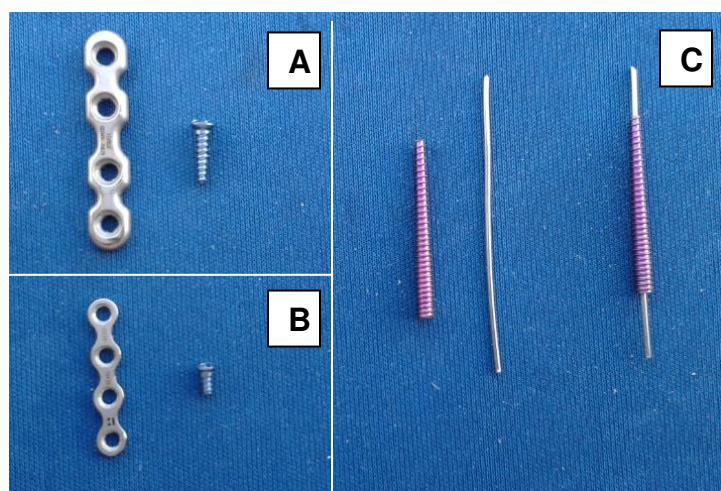


Figura 4 – (A) Placa e parafuso do sistema 2,4 mm; (B) Miniplaca e parafuso do sistema 2,0 mm; (C) Parafuso canulado cônico do sistema 2,8 mm, observar a cânula do parafuso pela introdução de um fio ortodôntico.

Esse material de osteossíntese foi fornecido pela empresa Tóride (Ind. Com. Ltda. EPP, Mogi-Mirim – SP – Brasil). De acordo com as descrições do fabricante as placas são de titânio comercialmente puro de grau II de acordo com ASTM F67, e os parafusos são de liga de titânio-6 alumínio-4 vanádio (Ti-6Al-4V), ASTM F136.

#### **4.2 Mandíbulas de poliuretano e resina fotoelástica**

Para o teste de carregamento foram utilizadas 30 mandíbulas idênticas de poliuretano rígido (ASTM F 1839). Para a análise fotoelástica foram utilizadas três mandíbulas fabricadas com 100 partes em resina fotoelástica GY-279 Araldite (Araltec Produtos Químicos Ltda., Guarulhos – São Paulo, Brasil) modificada, com diluído reativo, de baixa até média viscosidade, formulada à base de Bisfenol A, e 48 partes de um endurecedor HY 2963 Araldite (Araltec Produtos Químicos Ltda., Guarulhos – São Paulo, Brasil) à base de amina cicloalifática, modificado, de baixa viscosidade. Essa resina tem característica transparente e translúcida, o que permite a análise fotoelástica após o tempo de presa. Tanto as mandíbulas de poliuretano quanto as mandíbulas de resina fotoelástica foram adquiridas na empresa Nacional Ossos (Jaú – SP – Brasil).

#### 4.2.1 Grupos de teste

O total de 30 mandíbulas de poliuretano foi dividido em três grupos, com 10 mandíbulas em cada grupo e fixados da seguinte maneira (Tabela 1). As figuras 5, 6 e 7 ilustram a forma da fixação entre os grupos.

Tabela 1 – Grupos de estudo com descrição dos materiais e métodos de fixação.

<b>Grupos</b>	<b>Material de fixação</b>	<b>Modo de fixação</b>
Grupo (PRP) - <i>Miniplacas perpendiculares entre si</i>	2 miniplacas retas de 4 furos; 8 parafusos de 5,0 mm de comprimento. (Sistema 2,0 mm)	As placas foram instaladas de modo perpendicular (uma na região alveolar a outra na base)
Grupo (PLL) - <i>Miniplaca e placa paralelas entre si</i>	1 miniplaca reta de 4 furos; 4 parafusos de 5,00 mm de comprimento (Sistema 2,0 mm)  1 placa reta de 4 furos; 4 parafusos de 11,00 mm de comprimento. (Sistema 2,4 mm)	As placas foram instaladas de modo paralelo ( a do sistema 2,0 mm na borda superior e a do sistema 2,4 mm na borda inferior).
Grupo (PC) – <i>Parafusos canulados</i>	2 parafusos canulados cônicos de 28,00 mm de comprimento. (Sistema 2,8 mm)	Os parafusos foram instalados de modo paralelo, um com a base voltada para a direita e o outro para a esquerda.

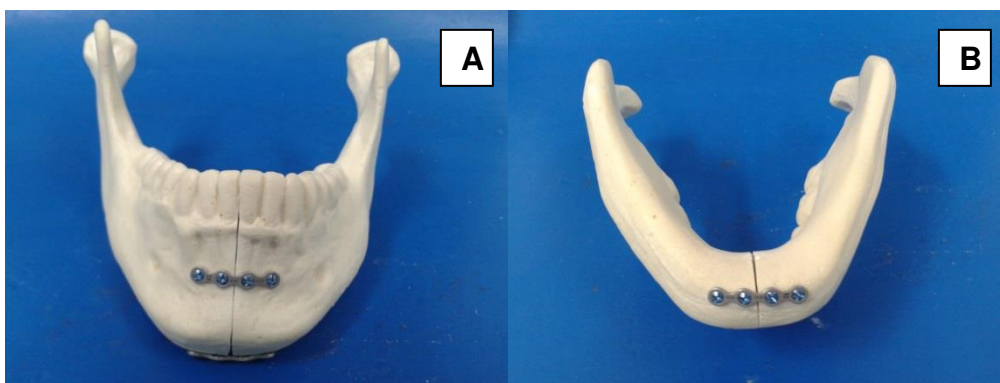


Figura 5 – (A) Mandíbula fixada com duas miniplacas do sistema 2,0 mm conforme descrito no grupo (PRP), visão frontal. (B) Mandíbula fixada conforme descrito para o grupo (PRP), visão inferior.



Figura 6 – Mandíbula fixada com uma placa do sistema 2,0 mm e outra placa do sistema 2,4 mm conforme descrito no grupo (PLL).

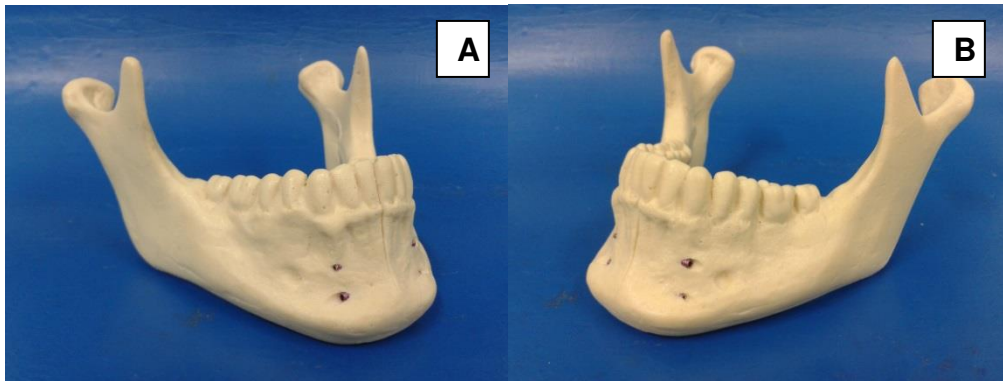


Figura 7 – Mandíbula fixada com dois parafusos canulados do sistema 2,8 mm conforme descrito no grupo (PC). (A) visão em  $\frac{3}{4}$  do lado direito; (B) visão em  $\frac{3}{4}$  do lado esquerdo.

#### 4.2.2 Preparo das amostras

Com a finalidade de padronizar os locais das perfurações para instalação dos parafusos, o local de fixação das placas e o local dos cortes para simular a fratura de sínfise, foi construído um guia de resina acrílica incolor quimicamente ativada (Artigos Odontológicos Clássico Ltda., Campo Limpo Paulista, SP, Brasil). Para isso, foi utilizada uma mandíbula de poliuretano que não foi incluída nos grupos de estudo.

Primeiramente, para simular a fratura de mandíbula, foi realizado, na mandíbula de poliuretano, um corte parcial por meio de um disco diamantado de 22 mm (KG, Sorensen, Cotia, SP, Brasil), montado em mandril e adaptado em uma peça de mão. Esse se iniciou na região entre os incisivos centrais inferiores e terminou na região do tubérculo geniano, sem o rompimento completo dos segmentos. Após a realização dos cortes parciais, as miniplacas do sistema 2,0 mm e a placa do sistema 2,4 mm foram modeladas manualmente, de modo que se

adaptassem passivamente no local onde seriam fixadas. Essas miniplacas e placas foram modeladas até entrar em contato pleno com a superfície mandibular. Após modelar as placas, as mesmas foram fixadas de modo que dois orifícios ficassem em cada lado da fratura. Em seguida, foram realizadas as perfurações onde seriam fixados os parafusos canulados. Após essas perfurações, as brocas foram deixadas dentro dos orifícios para a confecção do guia de resina (Figura 8).

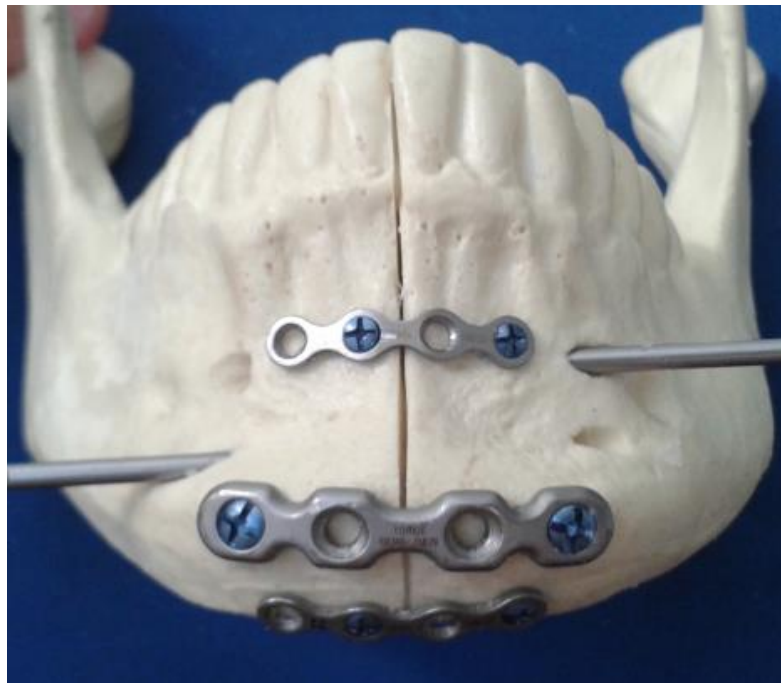


Figura 8 – Evidenciação do posicionamento das placas e das brocas para os grupos (PRP, PLL e PC), antes da confecção do guia. Observar a presença do corte parcial que foi realizado para simular a fratura da sínfise mandibular.

Após a fixação das placas na posição em que ficariam nos grupos (PRP; PLL) e a perfuração onde seriam inseridos os parafusos do grupo (PC), o guia de resina acrílica foi feito. O modelo com os sistemas de fixação em posição e com



as brocas inseridas nas perfurações feitas para os parafusos canulados foi lubrificado com vaselina sólida (Indústria Farmacêutica Rioquímica Ltda., São José do Rio Preto, SP, Brasil). Em seguida a resina incolor, foi adaptada ao redor das placas e da broca onde seriam instalados os parafusos canulados até o momento de presa final (Figura 9).

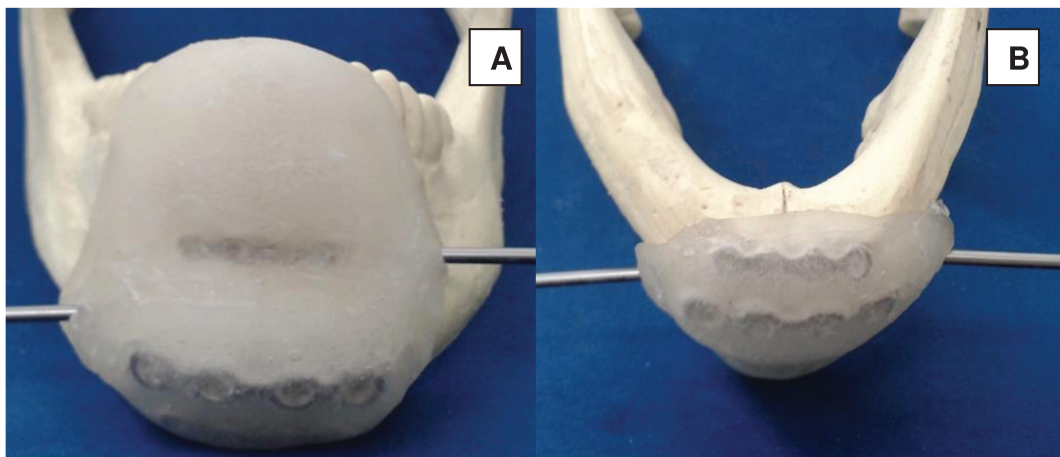


Figura 9 – Guia de resina acrílica incolor sendo confeccionado. (A) visão frontal; (B) visão inferior. Observar o posicionamento das placas e das brocas incluídos no guia.

Após a presa final da resina, as brocas, e em seguida o guia, foram removidas da mandíbula. Sequencialmente, as placas foram desparafusadas da mandíbula e inseridas novamente no guia para testar a adaptação das mesmas. Certificada a adaptação das placas no guia, foram realizadas perfurações na região dos orifícios das placas. Não foi necessária a perfuração no local onde seria realizada a instalação dos parafusos canulados, pois a broca foi deixada em posição no momento da confecção do guia com essa finalidade (Figura 10).

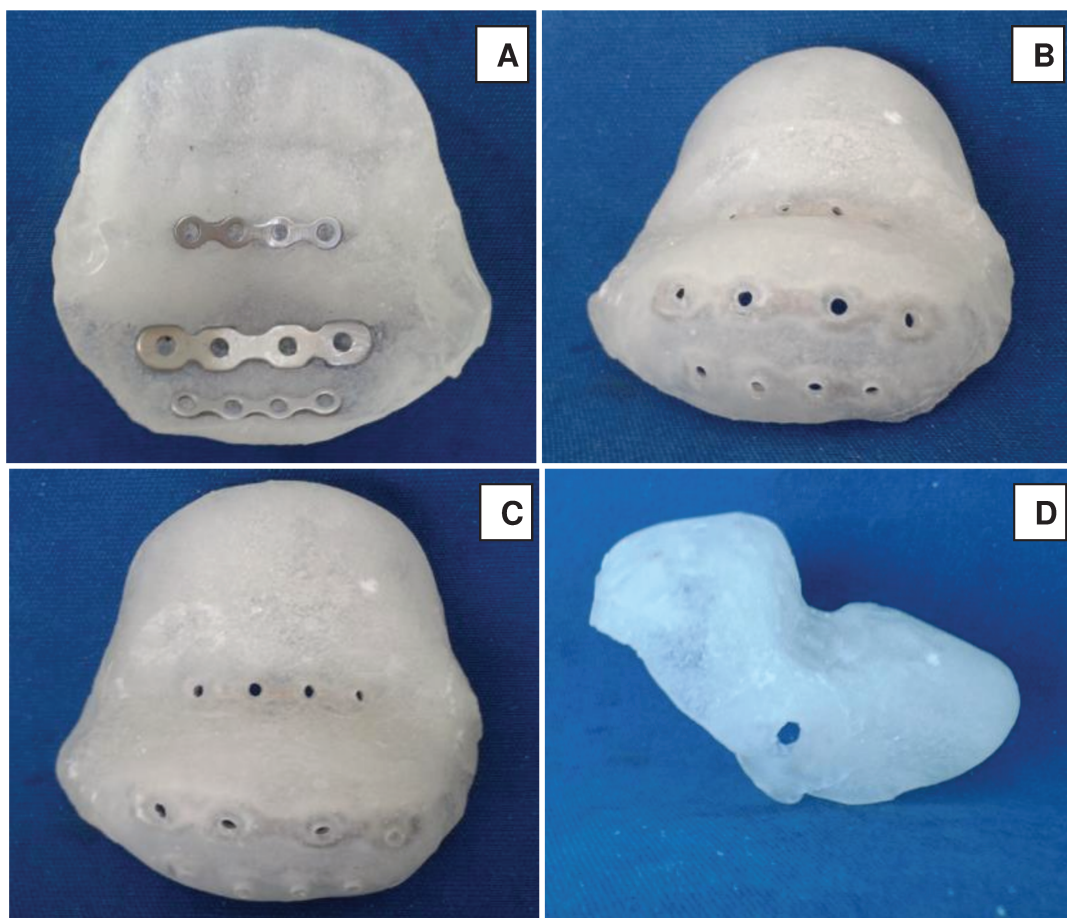


Figura 10 – Guia de resina acrílica. (A) posicionamento da miniplacas e placas incluídas no guia; (B) guia cirúrgico após as perfurações, visão inferior; (C) guia cirúrgico após perfurações, visão frontal; (D) guia cirúrgico mostrando a perfuração lateral para instalação dos parafusos canulados.

Realizada a adaptação das placas e perfurações no guia de resina, o mesmo foi submetido ao corte sagital na região da sínfise mandibular a fim de padronizar a posição dos cortes que simulariam a fratura da sínfise mandibular. Para isso, as placas foram removidas do guia e ele foi novamente posicionado na mandíbula. O corte foi realizado com um disco diamantado de 22 mm de diâmetro, observando-se a transparência do mesmo (Figura 11).

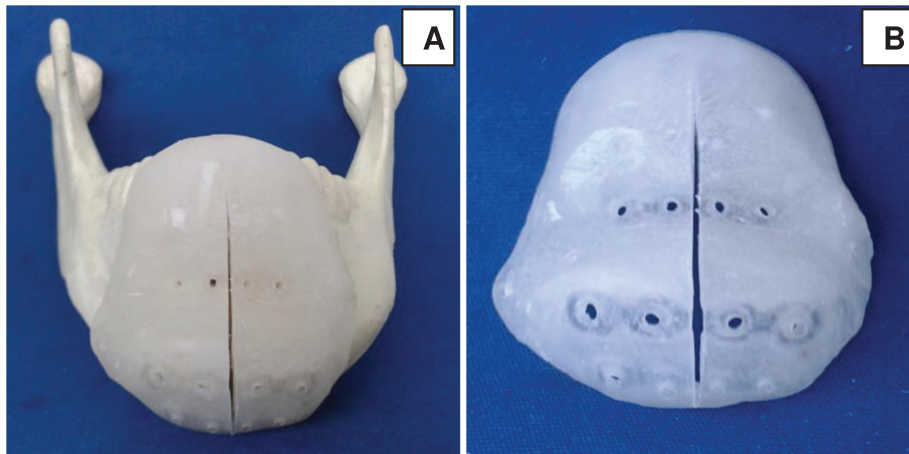


Figura 11 – (A) Guia de resina adaptado na mandíbula após a realização do corte sagital. (B) Guia de resina após a remoção da mandíbula, mostrando as perfurações e o corte sagital.

Terminada a construção do guia, todas as 30 mandíbulas foram submetidas ao corte parcial que simulou a fratura de mandíbula através do posicionamento do guia em cada mandíbula. Em seguida, as 30 mandíbulas de poliuretano foram divididas em três grupos de 10 mandíbulas, conforme descrito anteriormente. As miniplacas e placas foram modeladas e adaptadas passivamente sobre a região em que seriam fixadas na mandíbula e dentro do guia de acordo com cada grupo de estudo. Com o auxílio do guia, e com as miniplacas e/ou placas em posição, cada mandíbula foi submetida às perfurações necessárias para a instalação do material de fixação, de acordo com seu respectivo grupo. Para as fixações do sistema 2,0 mm a broca utilizada foi a do sistema Tóride de 1,5 mm (Tóride, Mogi-Mirim, SP, Brasil) e para as fixações do sistema 2,4 mm e do parafuso canulado a broca utilizada foi a do sistema Tóride de 2,0 mm (Tóride, Mogi-Mirim, SP, Brasil). Após essas perfurações, o corte parcial foi clivado completando a fratura da

sínfise mandibular. Em seguida, as mandíbulas foram fixadas manualmente de acordo com cada grupo de estudo (Figuras 5, 6 e 7).

### **4.3 Teste de carregamento**

Os testes mecânicos foram realizados em uma máquina servohidráulica de carregamento universal (Instron Universal 4411; Instron Corporation, Norwood, MA) do Departamento de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade Estadual de Campinas (FOP – UNICAMP). A adaptação das mandíbulas de poliuretano na máquina de carregamento foi realizada através da utilização de um suporte fabricado em aço inoxidável. Esse suporte fixou a mandíbula de poliuretano, de forma compressiva, do côndilo até a base da mandíbula do lado direito (Figura 12).



Figura 12 – Mandíbula fixada ao suporte metálico de forma compressiva englobando o côndilo e a base do lado direito.

Após a fixação da mandíbula no suporte, a mesma foi posicionada perpendicularmente à ponta do dispositivo de carregamento, onde foram incididas as forças. O ponto fixo de compressão selecionado foi a fossa central do primeiro molar inferior esquerdo, contralateral ao lado de apoio (Figura 13). A máquina foi programada para aplicar uma força progressiva com um deslocamento de 10 mm/min. Os valores de resistência foram aferidos em Newtons (N) nos deslocamentos 1, 3, 5, 7 e 10 mm, para cada amostra de cada grupo somente uma vez. Esse teste foi baseado na metodologia utilizada por Vieira-Oliveira & Passeri, 2011.



Figura13 – Mandíbula posicionada perpendicularmente à ponta do dispositivo de carregamento na máquina de ensaio mecânico.

#### 4.4 Teste fotoelástico

Para a análise fotoelástica, foram construídas três mandíbulas (Nacional Ossos, Jaú, SP, Brasil) em resina fotoelástica GY-279 Araldite, à base de Bisfenol A, e um endurecedor HY 2963 à base de amina cicloalifática (Araltec Produtos Químicos Ltda., Guarulhos – São Paulo, Brasil). O preparo da amostra foi realizado exatamente da mesma maneira como descrito para a fixação das mandíbulas de poliuretano. Após a fixação, com o objetivo de eliminar as tensões

geradas, as mandíbulas permaneceram em estufa, com uma temperatura de 40° C, por 90 minutos (Lima SM Jr, 2011). Após esse período, os modelos fotoelásticos foram levados à máquina de ensaio universal Instron, modelo 4411, acoplada a um polariscópio plano (Eikonal Instrumentos Ópticos Comércio e Serviço Ltda., São Paulo – SP – Brasil) do laboratório de materiais dentários do Departamento de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade Estadual de Campinas (FOP- UNICAMP) (Figura 14).

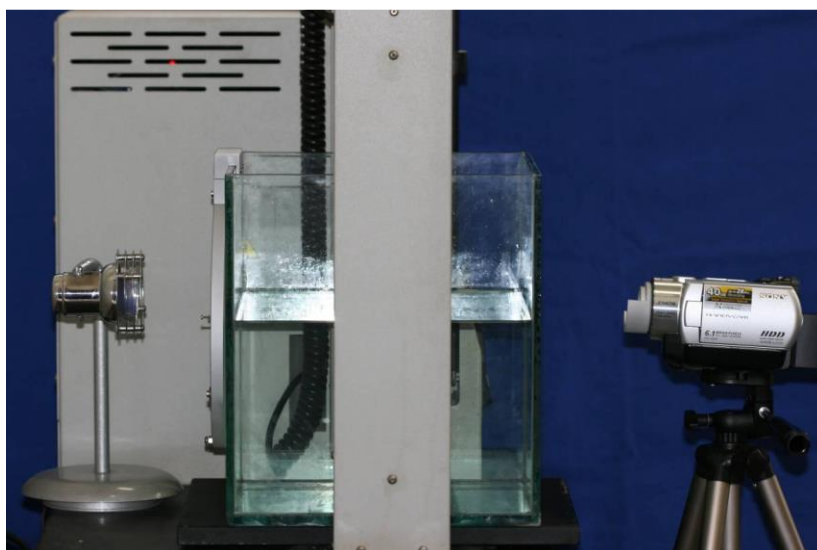


Figura 14 – Vista lateral do modelo do polariscópio utilizado na análise fotoelástica. Fonte: de Assis, 2012.

Para a visualização das franjas de tensão na região da fratura da sínfise mandibular a região foi embebida com óleo mineral transparente. A máquina de teste foi programada para realizar uma força compressiva a uma velocidade de um mm/min até atingir o deslocamento total de cinco milímetros. Foi realizada uma fotografia, em cada grupo avaliado, antes do início do teste. Em seguida, após o início do teste, foi realizada a filmagem do carregamento progressivo e uma fotografia no final do deslocamento com cinco milímetros em cada grupo de

fixação, pois foi o melhor deslocamento para visualização das franjas de tensão. Esse método foi realizado conforme estudo prévio (de Assis, 2012). Para a realização da filmagem e fotografias foi utilizada uma filmadora Sony Modelo Handycam DCR-SR300 6.1 MP (Sony Corporation, Japão).

#### **4.5 Análises dos dados**

Nesse estudo, foram realizadas análises quantitativas, qualitativas, descritivas e comparativas de acordo com a variável estudada.

##### **4.5.1 Teste de carregamento**

Os dados coletados foram organizados e digitados em uma base de dados usando o programa SPSS para Windows, versão 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) e envolveu análise descritiva e testes de comparação entre grupos. O teste de Shapiro-Wilk foi realizado e revelou uma distribuição normal dos valores. Para verificar se houve diferença significativa entre as médias dos três grupos o teste Anova One-Way foi realizado. O teste de Tukey foi realizado para verificar em qual grupo estava a diferença estatística. Um valor de  $p < 0,05$  foi considerado estatisticamente significativo.



#### **4.5.2 Teste fotoelástico**

A análise fotoelástica foi realizada de modo descritivo e qualitativo. Foram observadas e comparadas a distribuição e concentração das franjas formadas, antes e após a aplicação de carga sobre os modelos. Os padrões de cores visualizados não foram quantificados, pois o objetivo do teste não foi avaliar quantitativamente e sim comparar a distribuição e concentração das tensões entre os métodos de fixação utilizados.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Teste de carregamento

O resultado da resistência à força de compressão, fornecido pela máquina de ensaio universal Instron 4411, de cada corpo de prova testado, em todos os grupos de fixação, está apresentado, em forma de gráfico, nos Anexos 1, 2 e 3. As médias dos valores de resistência à compressão estão representadas na Figura 15.

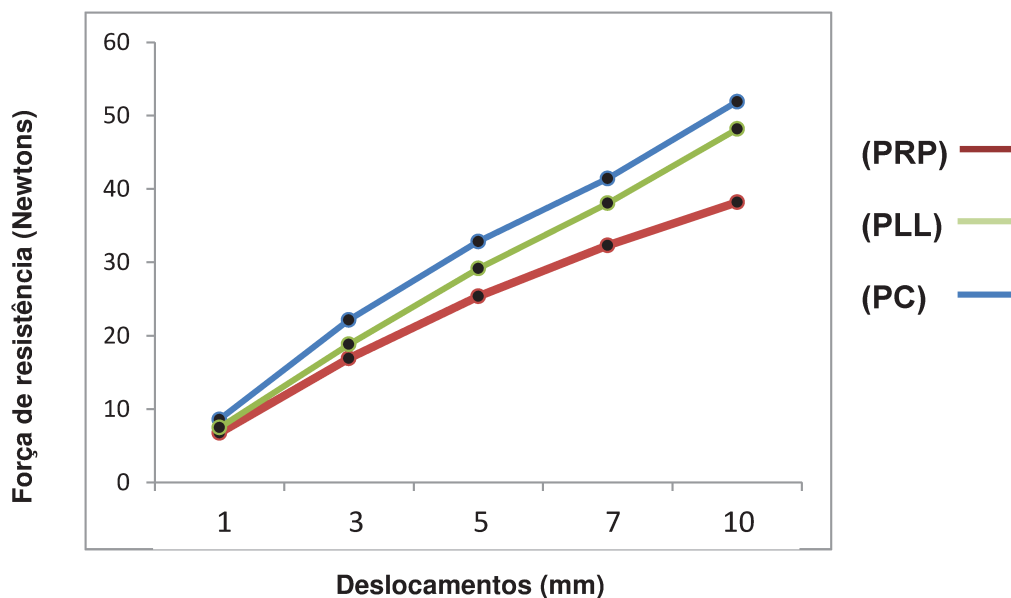


Figura 15 – Média dos valores de resistência em Newtons, dos grupos estudados, com 1, 3, 5, 7 e 10 mm de deslocamento.

Os resultados da resistência à força de compressão, assim como a dispersão dos valores de força, foram diretamente proporcionais ao deslocamento nos grupos testados (Figura 16).

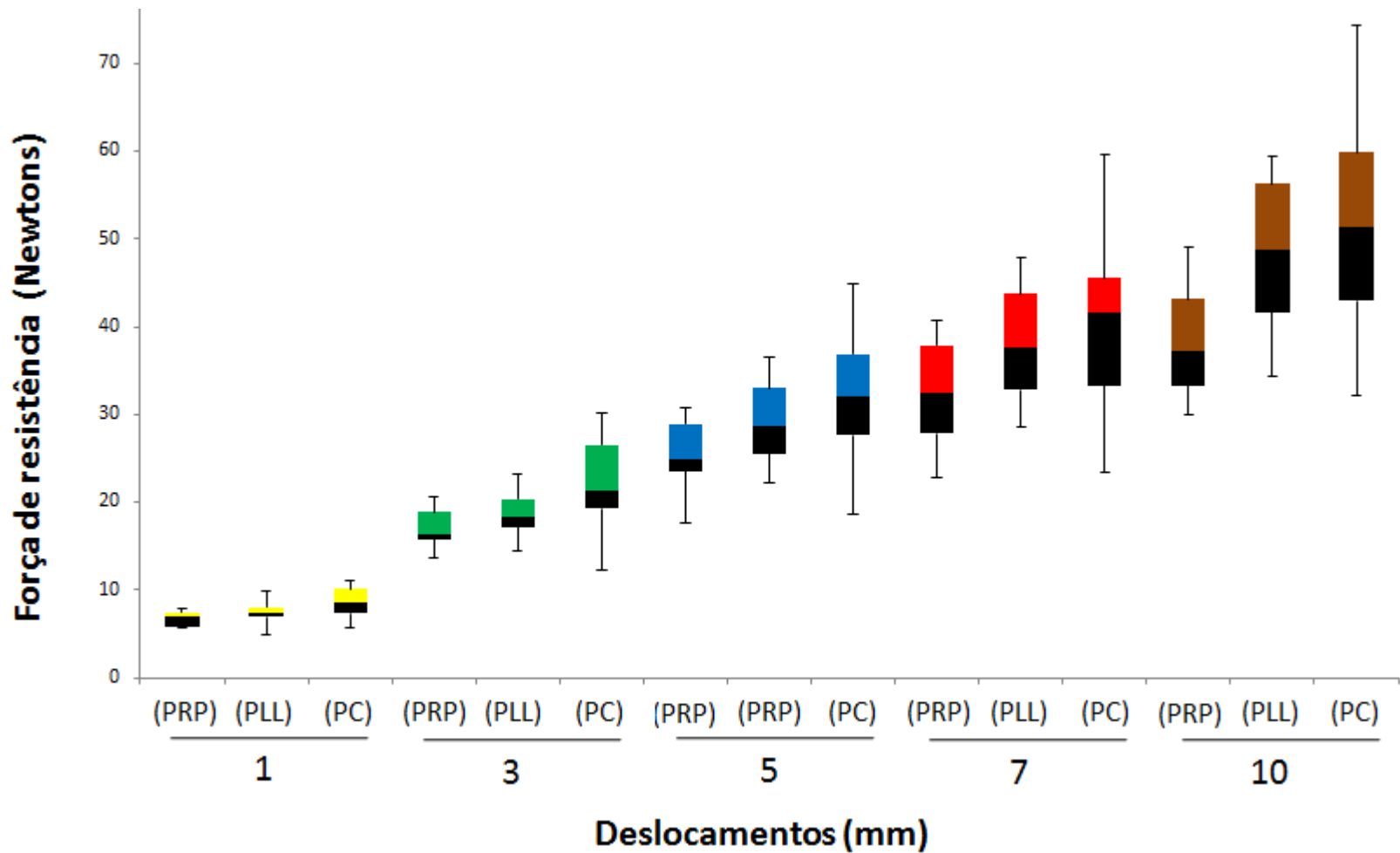


Figura 16 – Gráfico Box Plot, mostrando a dispersão dos valores de resistência, mediana, quartis, limites superior e inferior em todos os deslocamentos. Observar que quanto maior o deslocamento, maior a resistência e maior a dispersão da resistência.

Após a análise de variância foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos com 1, 3, 5 e 10 mm de deslocamento (Tabela 2). O teste de Tukey evidenciou que a diferença estatística na análise de variância foi determinada pela diferença entre as médias do grupo (PRP) e do grupo (PC), com um mm de deslocamento ( $p=0,020$ ); três mm de deslocamento ( $p=0,011$ ); cinco mm de deslocamento ( $p=0,028$ ) e 10 mm de deslocamento ( $p=0,020$ ). Apesar de não haver diferença estatisticamente significativa entre os grupos (PLL) e (PC), os valores brutos das médias da resistência à força de compressão no grupo (PC) foram maiores em todos os deslocamentos.

Tabela 2 – Comparação da força de resistência entre os parafusos canulados e os sistemas de placas e parafusos.

Grupos	Deslocamento (mm)	Média	DP	$p^*$
<b>1</b>				
(PRP) - Placas 2.0	<sup>a</sup>	6,76	0,92	0,025
(PLL) - Placa 2.4	<sup>ab</sup>	7,48	1,37	
(PC) - Canulados	<sup>bb</sup>	8,59	1,79	
<b>3</b>				
(PRP) - Placas 2.0	<sup>a</sup>	16,93	2,29	0,013
(PLL) - Placa 2.4	<sup>ab</sup>	18,83	2,75	
(PC) – Canulados	<sup>bb</sup>	22,16	5,33	
<b>5</b>				
(PRP) - Placas 2.0	<sup>a</sup>	25,36	4,04	0,036
(PLL) - Placas 2.4	<sup>ab</sup>	29,16	4,94	
(PC) – Canulados	<sup>bb</sup>	32,84	8,4	
<b>7</b>				
(PRP) - Placas 2.0		32,30	6,24	0,073
(PLL) - Placas 2.4		38,06	6,72	
(PC) – Canulados		41,42	11,69	
<b>10</b>				
(PRP) - Placas 2.0	<sup>a</sup>	38,17	6,33	0,022
(PLL) - Placas 2.4	<sup>ab</sup>	48,18	9,46	
(PC) – Canulados	<sup>bb</sup>	51,90	14,52	

Anova One-Way; Teste de Tukey; Letras diferentes na mesma coluna significam que houve diferença estatisticamente significativa; Letras iguais na mesma coluna significam que não houve diferença estatisticamente significativa. DP = desvio padrão.

## 5.2 Teste fotoelástico

A análise dos testes fotoelásticos foi realizada de maneira qualitativa para avaliar a presença e o padrão de distribuição das franjas isocromáticas nos modelos entre os grupos estudados. A princípio, foi observada maior concentração de tensões na região próxima à base mandibular em todos os grupos avaliados. Dessa forma pôde-se observar que a base mandibular foi a área de maior

resistência mecânica nos testes, mostrando um bom padrão de distribuição de tensões entre os grupos.

No grupo (PRP), foi observada maior concentração de tensões principalmente próxima à placa instalada na região da base mandibular e menor concentração de tensões próximas à placa instalada na região próxima às raízes dentárias. Em ambas as placas, os parafusos que apresentaram maior concentração de franjas isocromáticas foram os próximos da área de fratura, mostrando que esses são os parafusos mais críticos. Além disso, assim como nos demais grupos, foi observada que as tensões foram dissipadas paralelamente ao material de fixação pela base da mandíbula (Figura 17 A e B).

No grupo fixado com uma placa do sistema 2,4 mm e uma miniplaca do sistema 2,0 mm (PLL), verifica-se que a maior concentração de tensões ocorreu próximo à placa do sistema 2,4 mm, mostrando que a mesma é responsável pela maior absorção de carga nesse sistema de fixação. As regiões da placa de 2,4 mm, em que foi observada a maior concentração de tensões, foi a do parafuso próximo ao traço de fratura do lado direito e a região distal à placa do lado esquerdo. Foi observada que a dissipação de cargas ocorreu também na região da base mandibular e de forma mais eficiente na placa do sistema 2,4 mm do que na placa do sistema 2,0 mm. Dessa forma, assim como na fixação pelo grupo (PRP), a placa próxima à base mandibular é a que concentra maior quantidade de franjas de tensão (Figura 18 A e B).

No grupo fixado com os parafusos canulados, foi observado que as franjas de tensões apresentaram boa distribuição por toda a superfície avaliada ao contrário dos sistemas de fixação com placas e parafusos, em que a concentração

de tensões está localizada próxima aos parafusos de fixação. Nesse sistema, foi observada a dispersão de franjas principalmente em direção às raízes dos dentes no parafuso superior e em direção à base da mandíbula no parafuso inferior. Pôde-se observar também concentração de tensões próxima ao ápice dos parafusos canulados. Finalmente, assim como ocorreu nos grupos (PRP) e (PLL), parte das tensões são dissipadas pela base da mandíbula, que é uma área de maior resistência (Figura 19 A e B).



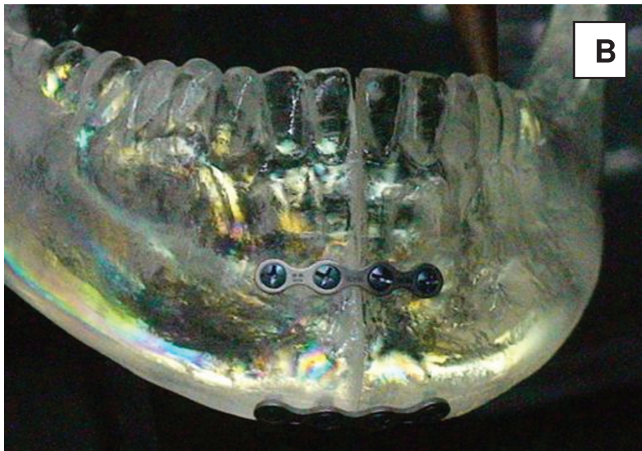


Figura 17 – Fotografia do teste fotoelástico no grupo (PRP). (A) antes do deslocamento; (B) após o deslocamento de 5 mm.



Figura 18 – Fotografia do teste fotoelástico no grupo (PLL). (A) antes do deslocamento; (B) após o deslocamento de 5 mm.

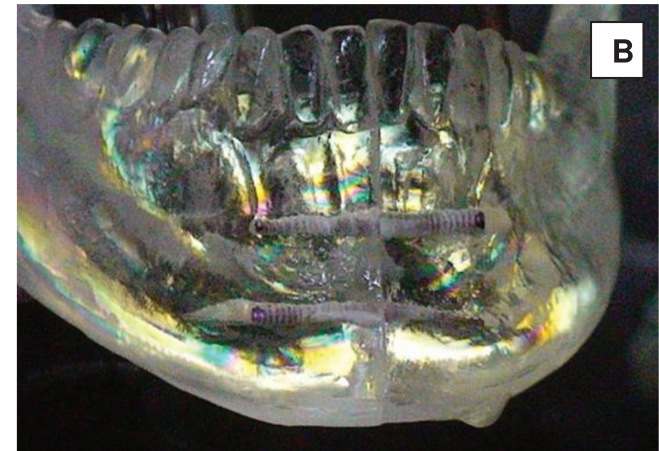


Figura 19 – Fotografia do teste fotoelástico no grupo (PC). (A) antes do deslocamento; (B) após o deslocamento de 5 mm.

## 6 DISCUSSÃO

A finalidade dos testes mecânicos em cirurgia bucomaxilofacial é reproduzir e estudar o comportamento da distribuição de forças em sistemas que simulam os ossos da face em suas mais variadas situações, desde a fixação de fraturas até o comportamento dos diferentes sistemas de implantes (Pellizzer et al., 2011; Christopoulos et al., 2012). Atualmente, existem vários testes mecânicos que são utilizados para simular essas situações como: análise por elementos finitos, análise fotoelástica e os testes de carregamento mecânicos (Karl et al., 2009). Nesse estudo, para a avaliação do desempenho dos parafusos canulados cônicos em fraturas de sínfise mandibular foram utilizados os testes de carregamento mecânico e fotoelástico. As hipóteses de que o parafuso canulado apresentaria resistência adequada à compressão e melhor distribuição de tensões que os outros métodos de fixação foram confirmadas.

A escolha dos grupos de fixação para a comparação com os parafusos canulados, foi baseada em estudos descritos na literatura. A técnica de fixação de fraturas de sínfise mandibular mais utilizada é através da utilização de duas miniplacas paralelas. Essa técnica foi avaliada por Madsen et al., (2008) e Vieira-Oliveira & Passeri, (2011). Esses estudos relatam que o método de fixação convencional é através da aplicação das miniplacas dispostas paralelamente. Entretanto, no presente estudo o método de fixação com duas miniplacas perpendiculares foi escolhido, pois no estudo de Vieira-Oliveira & Passeri, (2011), foi observada maior resistência à compressão nesse grupo do que nas placas paralelas. Além disso, em um estudo por elementos finitos, Akiko et al., (2006)

comprovaram que as duas miniplacas instaladas perpendicularmente entre si foram mais adequadas, pois, mostraram um menor deslocamento vertical e uma menor distribuição de tensão entre os parafusos. Por outro lado, observa-se que uma desvantagem clínica para a instalação das placas dispostas de maneira perpendicular é ser necessário um acesso extra bucal. Entretanto, como o objetivo desse estudo foi comparar a resistência dos parafusos canulados, com outros métodos de fixação descritos na literatura, optou-se pelas placas dispostas de maneira perpendicular, por essas apresentarem maior resistência e menor tendência ao deslocamento vertical (Madsen et al., 2008; Vieira-Oliveira & Passeri, 2011).

A escolha do método de fixação do grupo (PLL), com uma miniplaca do sistema de 2,0 mm na zona de compressão e uma placa do sistema 2,4 mm na zona de tensão, foi baseada nos resultados obtidos no estudo de Vieira-Oliveira & Passeri, (2011) e Akiko et al., (2006). Esses autores observaram que, somente uma miniplaca na zona de compressão, ou, uma miniplaca na zona de compressão mais uma miniplaca na zona de tensão, foram inadequadas para a fixação e estabilidade das fraturas de sínfise. Entretanto, o grupo com duas miniplacas foi superior, exigindo a necessidade de uma placa na zona de tensão. Dessa forma, para tentar melhorar a resistência do sistema aplicado por esses autores, através da aplicação de duas placas paralelas, no presente trabalho optou-se por usar uma placa do sistema 2,4 mm na zona de tensão. A utilização dessa placa foi com a finalidade de aumentar a resistência e também diminuir o momento de flexão existente nessa região (Ellis, 2011). Além disso, os movimentos de torção bastantes presentes na região anterior da mandíbula (Tams

et al., 1997) podem ser mais bem estabilizados com a instalação de uma placa do sistema 2,4 mm devido a maior espessura da mesma.

A ideia do uso dos parafusos canulados para a fixação de fraturas de sínfise mandibular surgiu devido ao excelente desempenho da técnica de *Lag-Screw* para a fixação dessa região tanto em estudos mecânicos (Vieira-Oliveira & Passeri, 2011; Madsen, et al., 2008), quanto em estudos clínicos (Ellis, 2011; Ellis, 2012). O princípio da técnica de *Lag-Screw*, que é a compressão dos fragmentos fraturados, é preservado na aplicação dos parafusos canulados cônicos, devido ao tipo de espira que esse parafuso possui, com diferença nos espaçamentos do ápice para a base (Capelle et al., 2013). Dessa forma, os resultados do presente estudo podem ser comparados com os resultados dos estudos mecânicos que utilizaram a técnica de *Lag-Screw*.

No estudo de Vieira-Oliveira & Passeri, (2011), a resistência do grupo dos parafusos fixados com a técnica de *Lag-Screw* foi significativamente maior que os grupos com uma miniplaca, duas placas paralelas e duas placas perpendiculares. O presente estudo corrobora os resultados encontrados nesse trabalho, evidenciando maior resistência no grupo dos parafusos canulados que no grupo das miniplacas paralelas. Esse resultado pode ter sido alcançado devido à compressão que, tanto os parafusos usados com a técnica de *Lag-Screw* quanto os parafusos canulados, conferem no traço de fratura. Além disso, essa técnica permite um maior contato do material de osteossíntese com o osso que a fixação com as placas, uma vez que toda a superfície do parafuso está em contato com os dois cotos fraturados. Outra explicação plausível para o melhor desempenho dos parafusos sobre as miniplacas é que esses parafusos transfixam os cotos

fraturados do lado esquerdo para o direito e do lado direito para o esquerdo, funcionando como uma “viga”, eliminando a flexão negativa e a torção que existe na região da sínfise. Além disso, com a fixação realizada dessa maneira, a compressão dos cotos fraturados acontece também em ambos os sentidos, tanto na zona de compressão quanto na zona de tensão. Nos resultados do teste fotoelástico a dispersão das franjas de tensão pôde ser visualizada tanto nas zonas de tração, próximo à base mandibular, quanto nas zonas de compressão, próximo às raízes dos incisivos inferiores.

No presente estudo, não foi observada diferença estatisticamente significativa entre o grupo (PLL) e o grupo (PC). Entretanto, as médias de resistência do grupo dos parafusos canulados foram maiores em todos os deslocamentos aferidos (Figura 15). Dessa forma, é possível predizer que a placa do sistema 2,4 mm na zona de tensão mais a miniplaca do sistema 2,0 mm na zona de compressão, conferiram uma maior resistência que a duas miniplacas perpendiculares utilizadas nesse estudo e no estudo de Vieira-Oliveira & Passeri, (2011). Esse resultado pode ter sido conseguido tanto pela espessura da placa quanto pelo uso dos parafusos bicorticais de 11,0 mm de comprimento do sistema 2,4 mm. Além de aumentar a resistência às forças de compressão, essa placa diminui o momento negativo de flexão e a torção que existe na região da sínfise mandibular fraturada, e deve ser usada sempre que possível.

Ao comparar os parafusos utilizados na técnica de *Lag-screw* com os parafusos canulados cônicos, observamos que apesar de ambas as técnicas conferirem compressão aos cotos fraturados, o parafuso canulado por possuir as espiras com espaçamentos de tamanhos diferentes, da base para o ápice,

comprime automaticamente os cotos fraturados. Por outro lado, na maioria dos parafusos aplicados pela técnica de *Lag-screw*, para que seja realizada a compressão dos cotos fraturados, é necessária a realização de uma “acomodação” para a cabeça do parafuso, através de uma broca do tipo *countersink*. No estudo de Terheyden et al., (1999) ficou evidenciado, através de análise por elementos finitos, que a carga na região onde a cabeça do parafuso é adaptada, pode exceder a resistência à tensão normal do metal e do osso. Dessa forma, a utilização dessa técnica pode ser uma desvantagem quando comparada à instalação do parafuso canulado, uma vez que nesse último não é necessário o uso de *countersink*, pois o mesmo não possui cabeça.

Nesse estudo, a análise fotoelástica foi realizada para avaliar qualitativamente a distribuição de tensões no grupo dos parafusos canulados cônicos e comparar com os outros grupos de fixação estudados. No grupo (PRP), foi observada uma maior concentração de tensões próxima à placa instalada na região da base mandibular e nos parafusos próximos à área de fratura. No grupo (PLL) essas tensões foram mais bem distribuídas em torno da placa do sistema de 2,4 mm, mostrando que a mesma é responsável pela maior absorção de carga nesse sistema. O grupo que apresentou uma melhor distribuição das tensões foi o (PC), no qual foi possível observar a uma maior dispersão das franjas isocromáticas próximas ao material de fixação. Segundo interpretação de Sato et al. (2010), em um estudo que avaliou por análise fotoelástica diferentes métodos de fixação em osteotomia sagital da mandíbula, a tensão concentrada ao redor do material de fixação indica uma resistência mecânica mais baixa. Dessa forma, a menor concentração de tensões em torno dos parafusos canulados cônicos

exibido nos testes fotoelásticos, corrobora os resultados obtidos no teste de carregamento, indicando que os parafusos canulados possuem uma maior resistência e conseqüentemente uma menor chance de falha que os outros métodos de fixação avaliados.

Como a técnica de *Lag-screw* é aceita na literatura para a fixação das fraturas de sínfise mandibular (Ellis, 2011), a hipótese desse trabalho foi de que os parafusos canulados cônicos também pudessem ser aplicados com esse propósito. Dessa forma, através dos testes aplicados, foi observado que mecanicamente, esses parafusos são viáveis para essa finalidade. Como vantagens que podem ser alcançadas em situações clínicas da aplicação dos parafusos canulados em substituição aos parafusos aplicados pela técnica de *Lag-screw*, pode-se destacar: a facilidade da técnica durante o procedimento cirúrgico aberto e a possibilidade de realização de uma cirurgia minimamente invasiva.

Quando comparada com a técnica de *Lag-screw*, além da melhor distribuição mecânica pela ausência da necessidade de realizar o orifício pela broca de *countersink* (Terheyden, et al., 1999), a aplicação dos parafusos canulados pode ser bem mais simples, pois a perfuração óssea dos cotos fraturados na técnica de *Lag-screw* deve ser realizada por meio de duas brocas, enquanto na técnica dos parafusos canulados é necessária somente uma broca do sistema para a perfuração. Outra vantagem é que a broca do sistema dos parafusos canulados também pode ser canulada, o que pode permitir a realização de uma cirurgia minimamente invasiva, em casos de fraturas de sínfise sem deslocamento, caso o cirurgião tenha disponível um intensificador de imagens. Esse procedimento poderia ser realizado de maneira semelhante ao descrito para

o tratamento de fratura dos dedos por Geissler et al., (2006). Dessa forma, após o bloqueio maxilomandibular e redução dos cotos fraturados, seriam realizadas as perfurações com fios de Kirschner, com espessuras menores que o orifício do parafuso, de maneira transmucosa. A posição dos fios e a redução seriam visualizadas no intensificador de imagens e após a confirmação da posição, a broca canulada do sistema seria introduzida dentro do fio de Kirschner para a perfuração dos segmentos exatamente no local em que os fios estariam. Em seguida, o parafuso também seria inserido usando o fio de Kirschner como guia. Por outro lado, devemos destacar como desvantagem da utilização do parafuso canulado a neoformação óssea que pode ocorrer próxima às extremidades do parafuso dificultando a remoção cirúrgica do parafuso caso necessária (Schwend et al, 1997).

Os resultados desse estudo indicam que os parafusos canulados podem ser uma boa indicação na osteossíntese das fraturas de sínfise mandibular. Entretanto, as limitações metodológicas devem ser reconhecidas. Esse foi um estudo mecânico que utilizou mandíbulas de poliuretano para simular a fixação em fraturas de sínfise mandibular, e mandíbulas em resina fotoelástica para avaliar a distribuição de tensões. Dessa forma, os resultados devem ser cuidadosamente extrapolados para as situações clínicas, uma vez que, o substrato pode gerar interferência nos resultados. As mandíbulas de poliuretano utilizadas nesse estudo possuem um módulo de elasticidade muito menor que o osso humano, tanto cortical quanto medular. Isso foi claramente percebido durante a perfuração para a fixação das placas. Além disso, a mandíbula é um osso móvel da face e não fixo como foi testada no presente estudo. Outro fator que deve ser considerado é a



impressão de carga somente em um sentido, o que não ocorre na mandíbula, devido à presença da articulação temporomandibular e da musculatura da mastigação, que permite a movimentação nos sentidos, supero-inferior, antero-posterior e latero-lateral. Por outro lado, os estudos mecânicos são necessários antes da aplicação de um novo material em determinada situação clínica. Dessa forma, outras pesquisas com outras metodologias são sugeridas para confirmar os resultados do presente estudo, antes da aplicação clínica dos parafusos canulados em sínfise mandibular.

## **7 CONCLUSÃO**

Considerando as limitações metodológicas desse trabalho podemos concluir que os parafusos canulados cônicos apresentaram um bom desempenho nos testes mecânicos e fotoelásticos, sendo uma opção viável para a fixação das fraturas de sínfise mandibular.

## REFERÊNCIAS\*

Abdelgaid SM, Ezzat FF. Percutaneous reduction and screw fixation of fracture neck talus. *Foot Ankle Surg.* 2012; 18(4): 219-28.

Akiko K, Nagasao T, Kaneko T, Miyamoto J, Nakajima T. A comparative study of most suitable miniplate fixation for mandibular symphysis fracture using a finite element model. *Keio J Med.* 2006; 55 (1): 1-8.

Araújo CA, Neves FD, Bernardes SR. Stress analysis in dental implants using the photoelasticity technique. *Proceedings of the 3<sup>th</sup> national congress of mechanical engineering.* Belém, Brazil; 2004.

Batista AM, Marques LS, Batista AE, Falci SG, Ramos-Jorge ML. Urban-rural differences in oral and maxillofacial trauma. *Braz Oral Res.* 2012; 26(2): 132-8.

Brasileiro BF, Passeri LA. Epidemiological analysis of maxillofacial fractures in Brazil: a 5-year prospective study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006; 102(1): 28-34.

---

\* De acordo com a norma da UNICAMP/FOP, baseadas na padronização do International Committee of Medical Journal Editors. Abreviatura dos periódicos em conformidade com o Medline.

Boulton CL, Salzler M, Mudgal CS. Intramedullary cannulated headless screw fixation of a comminuted subcapital metacarpal fracture: case report. *J Hand Surg Am.* 2010; 35(8): 1260-3.

Capelle JH, Couch CG, Wells KM, Morris RP, Buford WL Jr, Merriman DJ, Panchbhavi VK. Fixation strength of anteriorly inserted headless screws for talar neck fractures. *Foot Ankle Int.* 2013; 34(7): 1012-6.

Chou YC, Hsu YH, Cheng CY, Wu CC. Percutaneous screw and axial Kirschner wire fixation of acute transscaphoid perilunate fracture dislocation. *J Hand Surg Am.* 2012; 37(4): 715-20.

Chrcanovic BR, Abreu MH, Freire-Maia B, Souza LN. Facial fractures in children and adolescents: a retrospective study of 3 years in hospital in Belo Horizonte, Brazil. *Dent Traumatol.* 2010; 26(3): 262-7.

Chrcanovic BR, Freire-Maia B, Souza LN, Araújo VO, Abreu MH. Facial fractures a 1 year retrospective study in a hospital in Belo Horizonte. *Braz Oral Res.* 2004; 18(4): 322-8.

Christopoulos P, Stathopoulos P, Alexandris C, Shetty V, Caputo A. Comparative biomechanical evaluation of mono-cortical osteosynthesis systems for condilar fractures using photoelastic stress analysis. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2012; 50(7): 636-41.

Cidade CPV. Análise fotoelástica do conceito *all-on-four* usando implantes angulados convencionais com e sem *cantilever* na maxila. [Tese]. Piracicaba: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba; 2012.

Dally JW, Riley WF. Experimental stress analysis. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha; 1978.

de Assis AF. Análise mecânica e fotoelástica de sistemas de fixação interna estável utilizados para o tratamento de fraturas subcondilares da mandíbula. [Tese]. Piracicaba: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba; 2012.

Domby B, Henderson E, Nayak A, Erdogan M, Gutierrez S, Santoni BG et al. Comparison of cannulated screw with tension band wiring versus compressive cannulated locking bolt and nut device (CompresSURE) in patella fractures-a cadaveric biomechanical study. J Orthop Trauma. 2012; 26(12): 678-83.

Duransoy YK, Mete M, Zieli M, Selcuki M. A new guide tube for odontoid screw fixation for unstable odontoid fractures: report of 6 case series. Turk Neurosurg. 2013; 23(5): 639-44.

Ehrenfeld M, Prein J. Symphyseal and parasymphyseal fractures. In: Ehrenfeld M, Manson PN, Prein J. Principles of Internal Fixation of the Craniomaxillofacial Skeleton. Trauma and Orthognatic Surgery. Switzerland: AO Foundation; 2012. p. 137-145.

Ellis E 3<sup>rd</sup>. A study of 2 bone plating methods for fractures of the mandibular symphysis/body. J Oral Maxillofac Surg. 2011; 69(7): 1978-87.

Ellis E 3<sup>rd</sup>. Is lag screw fixation superior or plate fixation to treat fractures of the mandibular symphysis? J Oral Maxillofac Surg. 2012; 70(4): 875-82.

Ellis E 3<sup>rd</sup>. Lag screw fixation of mandibular fractures. J Craniomaxillofac Trauma. 1997; 3(1): 16-26.

Ellis E 3<sup>rd</sup>, Ghali GE. Lag screw fixation of anterior mandibular fractures. J Oral Maxillofac Surg. 1991; 49: 13.

Erol B, Tanrikulu R, Görgun B. Maxillofacial fractures. Analysis of demographic distribution and treatment in 2901 patients (25-year experience). J Craniomaxillofac Surg. 2004; 32(5): 308-13.

Figueiredo EP. Análise fotoelástica da influência do carregamento e do comprimento na distribuição de tensão em dois sistemas de implantes dentários.

[Tese]. Piracicaba: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba; 2012.

Fridrich KL, Pena-Velasco G, Olson RA. Changing trends with mandibular fractures: a review of 1067 cases. *J Oral Maxillofac Surg.* 1992; 50(6): 586-9.

Gandhi S, Ranganathan LK, Solanki M, Mathew GC, Singh I, Bither S. Pattern of maxillofacial fractures at a tertiary hospital in northern India: a 4-year retrospective study of 718 patients. *Dent Traumatol.* 2011; 27(4): 257-62.

Geissler WB. Cannulated percutaneous fixation of intra-articular hand fractures. *Hand Clin.* 2006; 22(3); 297-305.

Goyal M, Marya K, Chawla S, Pandey R. Mandibular Osteosynthesis: A Comparative Evaluation of Two Different Fixation Systems Using 2.0 mm Titanium Miniplates & 3-D Locking Plates. *J Maxillofac Oral Surg.* 2011; 10(4): 316-20.

Iida S, Kogo M, Sugiura T, Mima T, Matsuya T. Retrospective analysis of 1502 patients with facial fractures. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2001; 30(4): 286-90.

Karl M, Dickinson A, Holst S, Holst A. Biomechanical methods applied in dentistry: a comparative overview of photoelastic examinations, strain gauge measurements, finite element analysis and three-dimensional deformation analysis. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2009; 17(2): 50-7.

Laughlin RM, Block M, Wilk R, Malloy RB, Kent JN. Resorbable plates for the fixation of mandibular fractures: a prospective study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2007; 65(1): 89-96.

Loukota RA. Fixation of diacapitular fractures of the mandibular condyle with a headless bone screw. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2007; 45(5): 399-01.

Lima SM Jr. Análise fotoelástica comparativa da utilização de ancoragem dental e esquelética na expansão rápida de maxila cirurgicamente assistida. [Tese]. Piracicaba: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba; 2011.

Lima SM Jr, de Moraes M, Asprino L. Photoelastic analysis of stress distribution of surgically assisted rapid maxillary expansion with and without separation of the pterygomaxillary suture. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011; 69(6): 1771-5.

Lovald S, Baack B, Gaball C, Olson G, Hoard A. Biomechanical optimization of bone plates used in rigid fixation of mandibular symphysis fractures. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010; 68(8): 1833-41.

Madsen MJ, McDaniel CA, Haug RH. A biomechanical evaluation of plating techniques used for reconstructing mandibular symphysis/parasymphysis fractures. *J Oral Maxillofacial Surg.* 2008; 66(10): 2012-9.



Manganello-Souza LC, de Cerqueira-Luz JG. Tratamento Cirúrgico do Trauma Bucomaxilofacial. São Paulo: Rocca; 2006.

Mathog RH, Toma V, Clayman L, Wolf S. Nonunion of the mandible: an analysis of contributing factors. J Oral Maxillofac Surg. 2000; 58(7): 746-52.

Messer TM, Nagle DJ, Martinez AG. Thumb metacarpophalangeal joint arthrodesis using the AO 3.0-mm cannulated screw: surgical technique. J Hand Surg Am. 2002; 27(5): 910-2.

Miloro M, Ghali GE, Larsen PE, Waite PD. Princípios de Cirurgia Bucomaxilofacial de Peterson. São Paulo: Santos Editora; 2008.

Passeri LA, Ellis E 3<sup>rd</sup>, Sinn DP. Relationship of substance abuse to complications with mandibular fractures. J Oral Maxillofac Surg. 1993; 51(1): 22-5.

Pellizzer EP, Carli RI, Falcón-Antenucci RM, Verri FR, Goiato MC, Villa LM. J. Photoelastic analysis of stress distribution with different implant systems. Oral Implantol. 2011; 12(2): 124-30.

Pilling E, Schneider M, Mai R, Loukota RA, Eckelt U. Minimally invasive fracture treatment with cannulated lag screws in intracapsular fractures of the condyle. J Oral Maxillofac Surg. 2006; 64(5): 868-72.

Raveh J, Sutter F, Hellem S. Surgical procedures for reconstruction of the lower jaw using the titanium-coated hollow-screw reconstruction plate system: Bridging of defects. *Otolaryngol Clin North Am.* 1987; 20(3): 535-58.

Rudderman RH, Mullen RI. Biomechanics of the facial skeleton. *Clin Plast Surg.* 1992; 19: 11-29.

Rudman RA, Rosenthal SC, Shen C, Ruskin JD, Ifju PG. Photoelastic analysis of miniplate osteosynthesis for mandibular angle fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1997; 84(2): 129-36.

Sadhwani BS, Anchlia S. Conventional 2.0 mm miniplates versus 3-D plates in mandibular fractures. *Ann Maxillofac Surg.* 2013 Jul; 3(2): 154-9.

Sato FR, Asprino L, Consani S, de Moraes M. Comparative biomechanical and photoelastic evaluation of different fixation techniques of sagittal Split ramus osteotomy in mandibular advancement. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010; 68(1) 160-6.

Schilli W. Mandibular Fractures. In: Prein J (ed). *Manual of Internal Fixation in the Cranio-Facial Skeleton.* Berlin: Springer-Verlag; 1998 p57-93.

Schmidt CC, Zimmer SM, Boles SD. Arthrodesis of the thumb metacarpophalangeal joint using cannulated screw and threaded washer. *J Hand Surg Am.* 2004; 29(6): 1044-50.

Schmoker R. The eccentric dynamic-compression plate: An experimental study as to its contribution of the functionally stable internal fixation of fracture of the lower jaw. *AO Bull* 1976; April, 1.

Schwend RK, Hennrikus WL, O'Brien TJ, Millis MB, Lynch MR. Complications when using the cannulated 3.5 mm screw system. *Orthopedics* 1997; 20(3): 221-3.

Spiessl B. New concepts in maxillofacial bone surgery. New York: Springer-Verlag; 1976.

Tams J, van Loon P, Otten E, Rozema FR, Bos RRM. A three dimensional study of bending and torsion moments for different fracture sites in the mandible: an in vitro study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1997; 26(5): 383-8.

Terheyden H, Mühlendyck C, Feldmann H, Ludwig K, Härle F. The self adapting washer for lag screw fixation of mandibular fractures: finite element analysis and preclinical evaluation. *J Craniomaxillo fac Surg.* 1999; 27(1): 58-67.

Trivellato AE, Passeri LA. Evaluation of osteotomy fixation changing the number, the extension and the location of the plates. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2006; 44(5): 377-81.

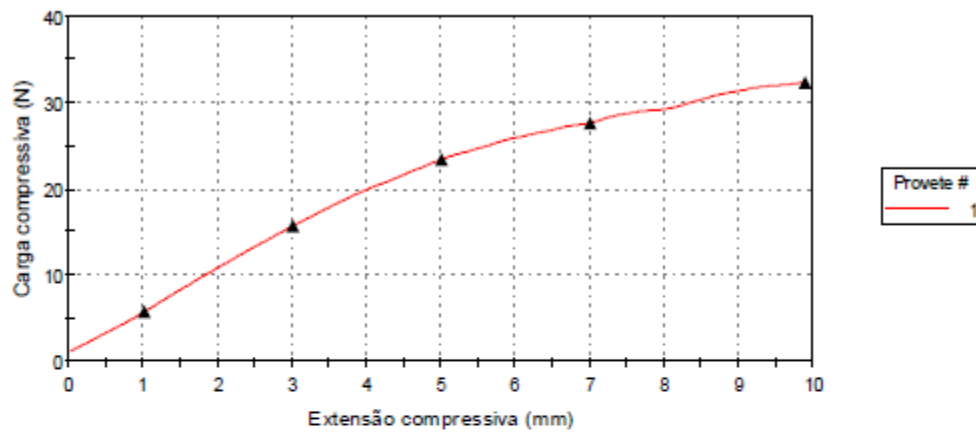
Vieira-Oliveira TR, Passeri LA. Mechanical Evaluation of Different Techniques for Symphysis Fracture Fixation – An In Vitro Polyurethane Mandible Study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011; 69(6): e141-6.

Watford KE, Jazrawi LM, Eglseider WA Jr. Percutaneous fixation of unstable proximal humeral fractures with cannulated screws. *Orthopedics.* 2009; 32(3): 166.

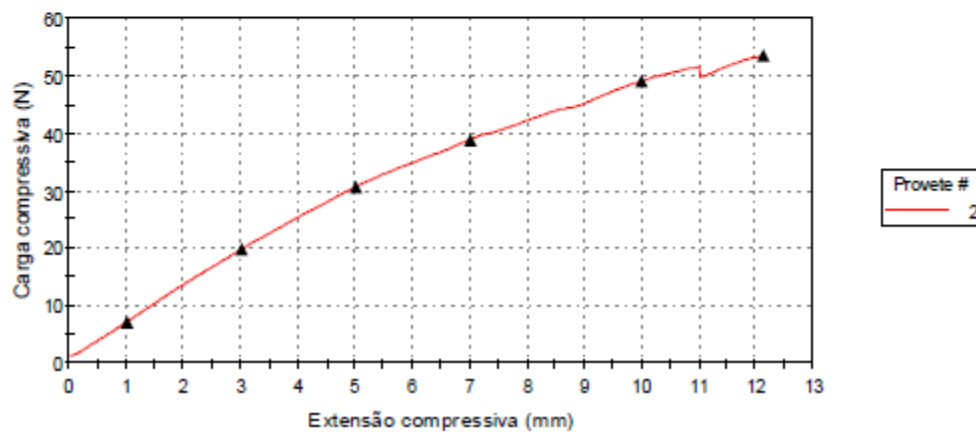
## ANEXO 1

RESULTADO DOS TESTES DE CARREGAMENTO DE CADA CORPO DE PROVA DO GRUPO DAS MINIPLACAS E PARAFUSOS (G1) GERADOS PELA INSTRON

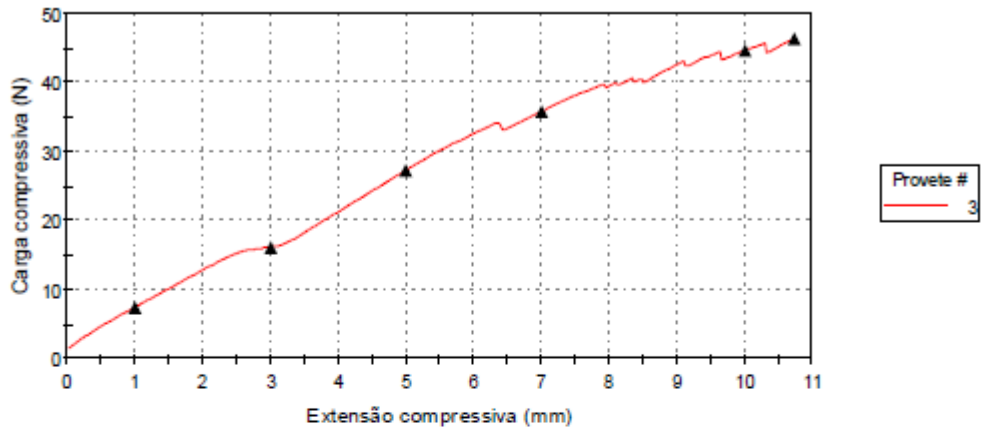
Provete 1 a 1



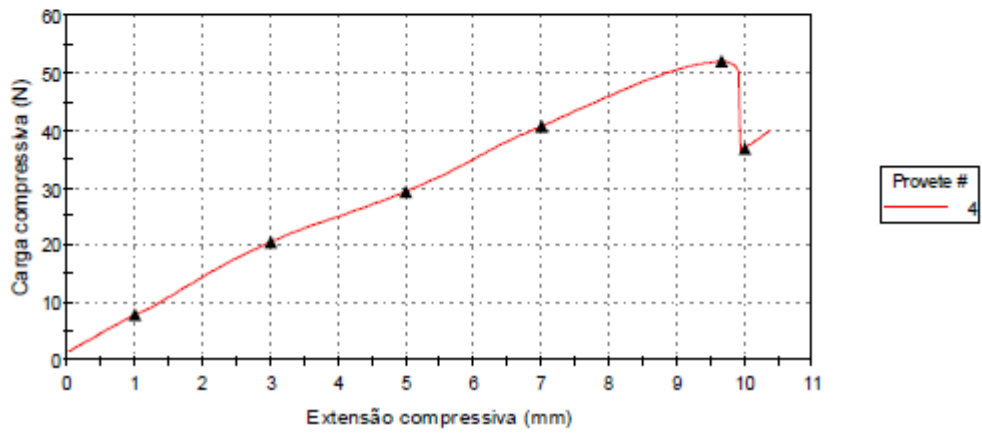
Provete 2 a 2



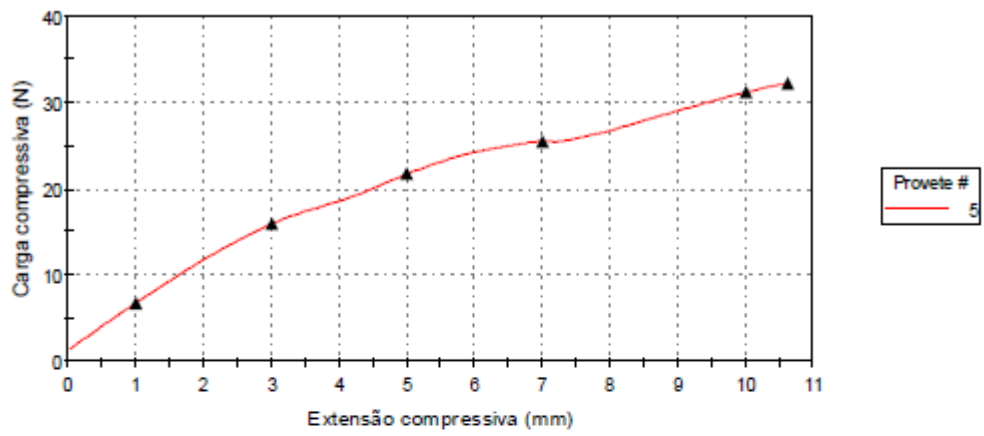
Provete 3 a 3



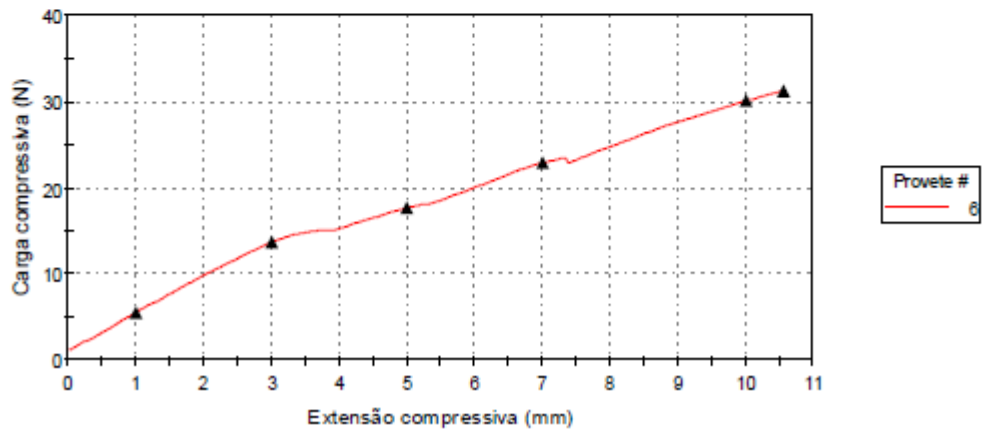
Provete 4 a 4



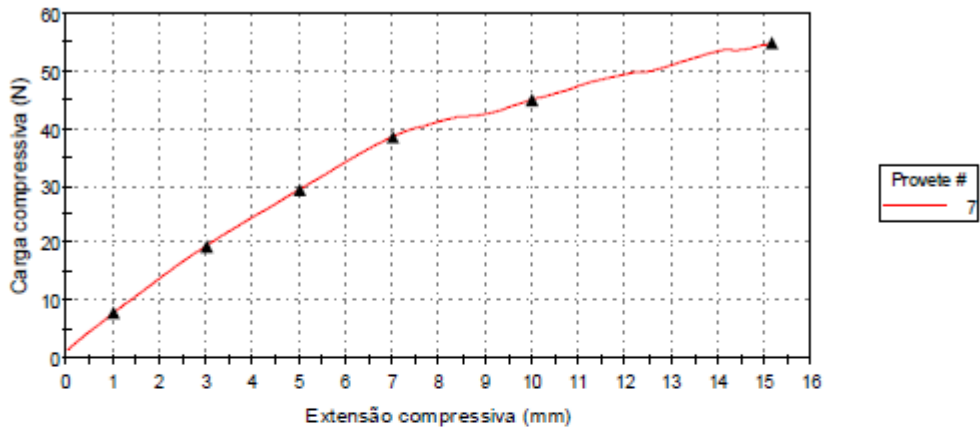
Provete 5 a 5



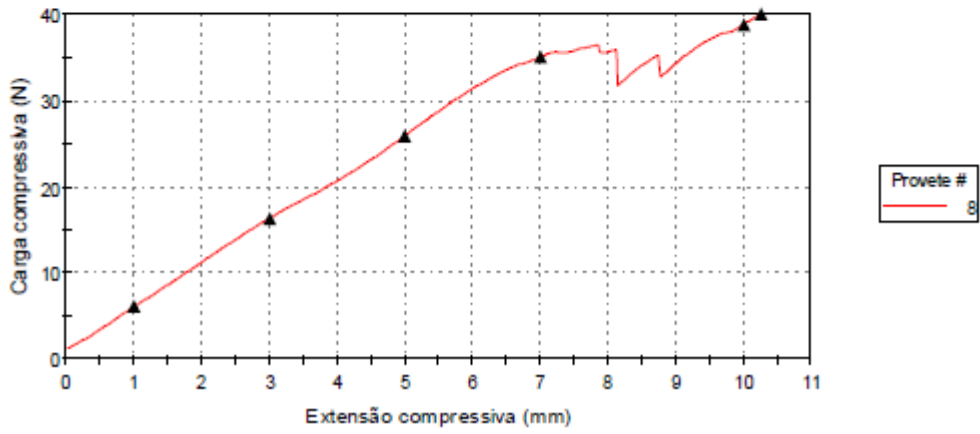
Provete 6 a 6



Provete 7 a 7

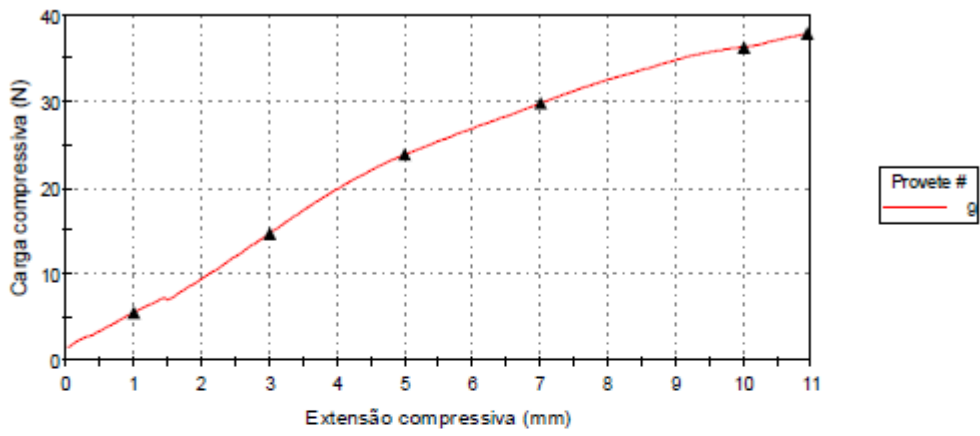


Provete 8 a 8

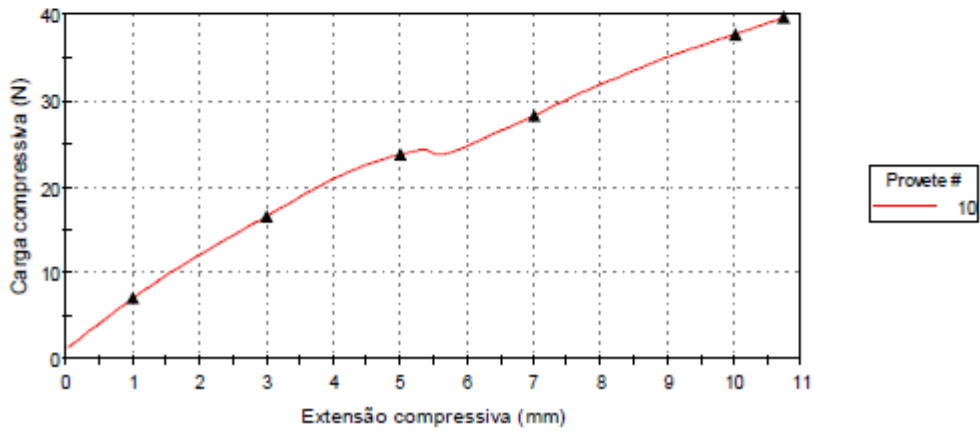




Provete 9 a 9



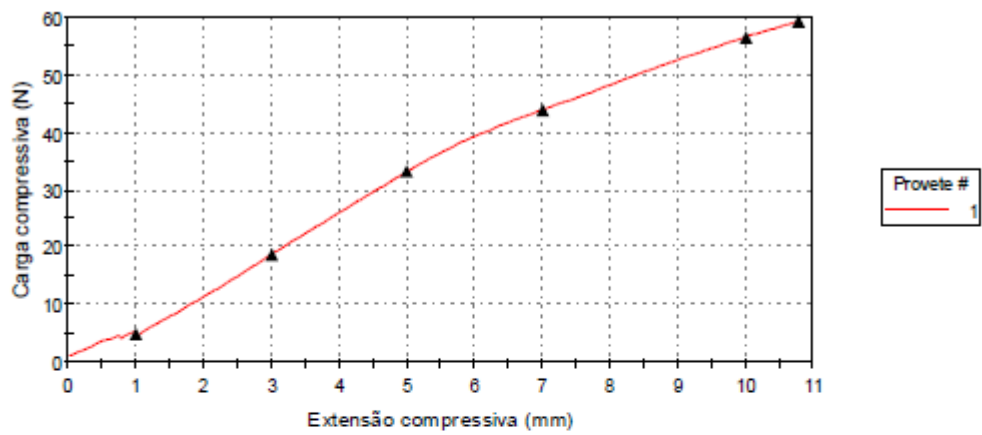
Provete 10 a 10



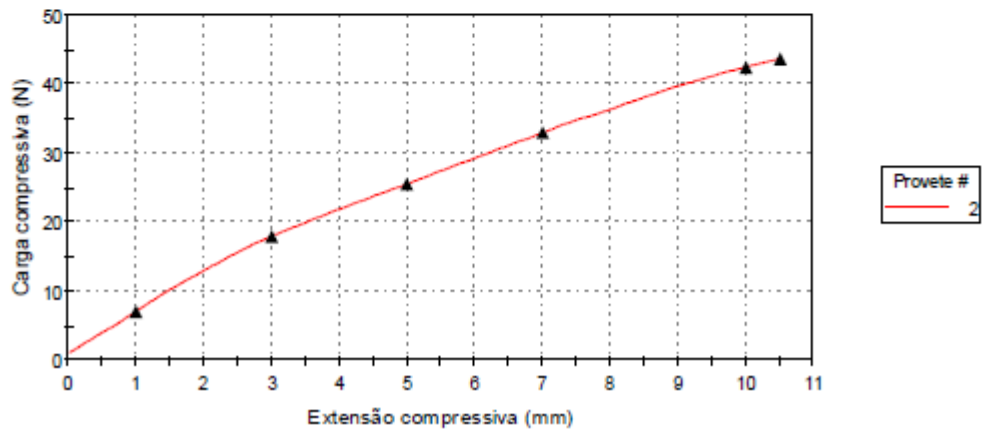
## ANEXO 2

RESULTADO DOS TESTES DE CARREGAMENTO DE CADA CORPO DE PROVA DO GRUPO DA MINIPLACA E PLACA 2.4 (G2) GERADOS PELA INSTRON

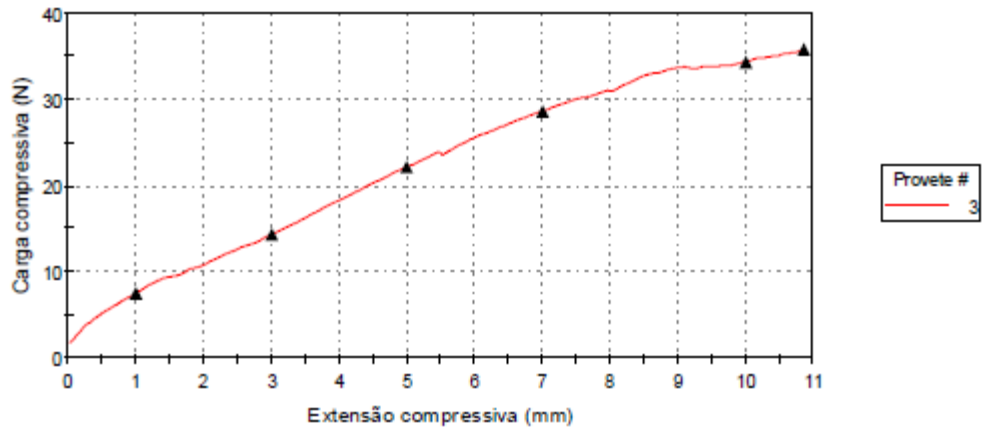
Provete 1 a 1



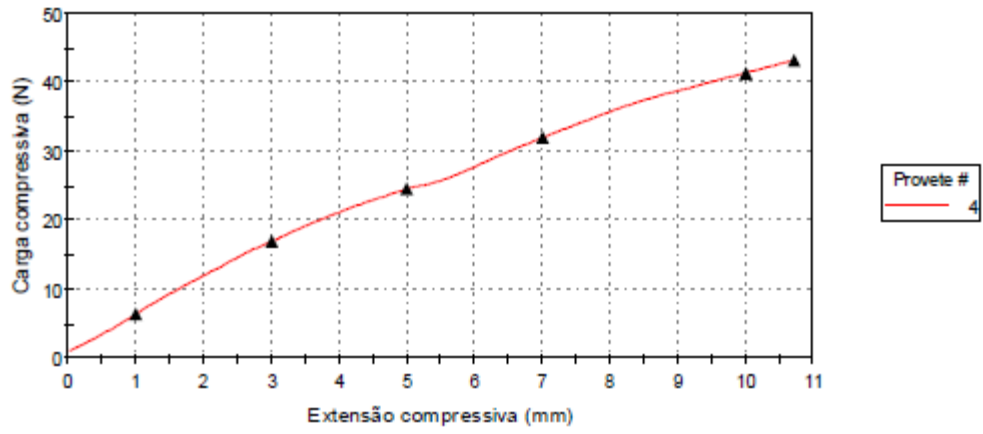
Provete 2 a 2



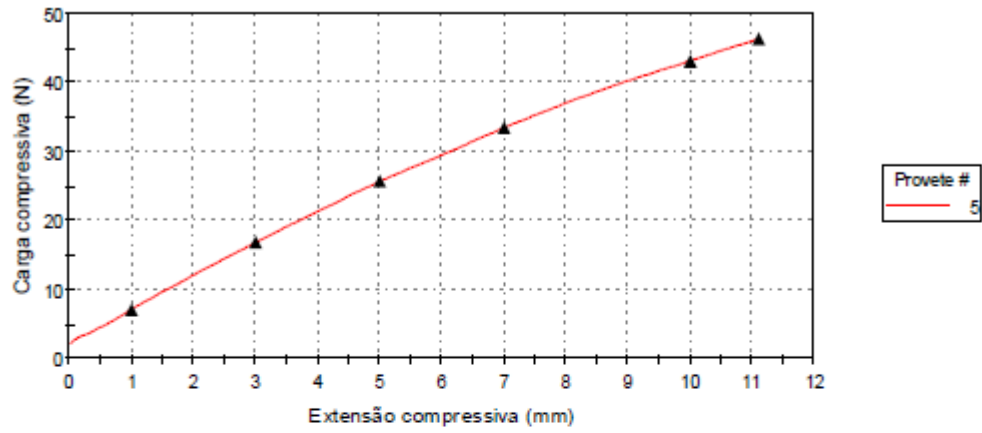
Provete 3 a 3



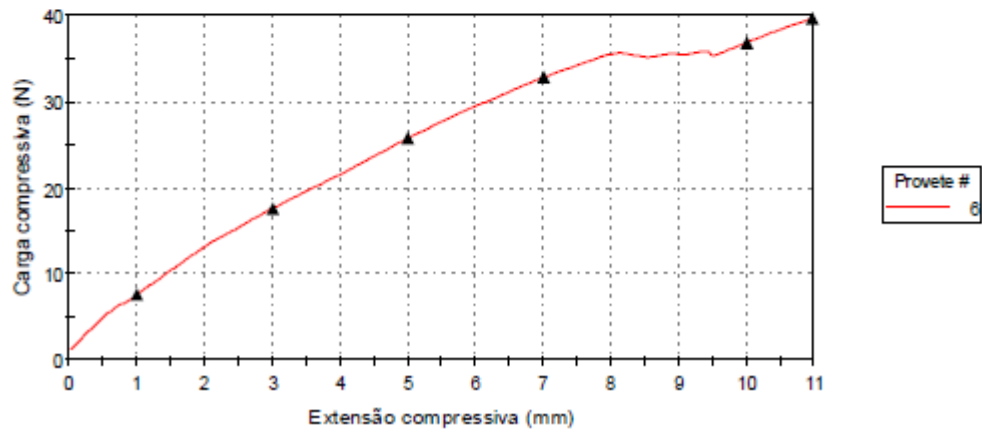
Provete 4 a 4



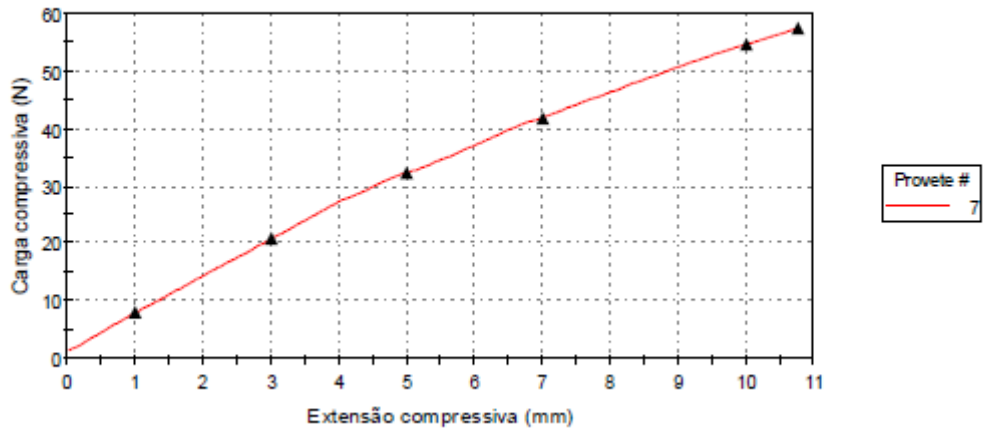
Provete 5 a 5



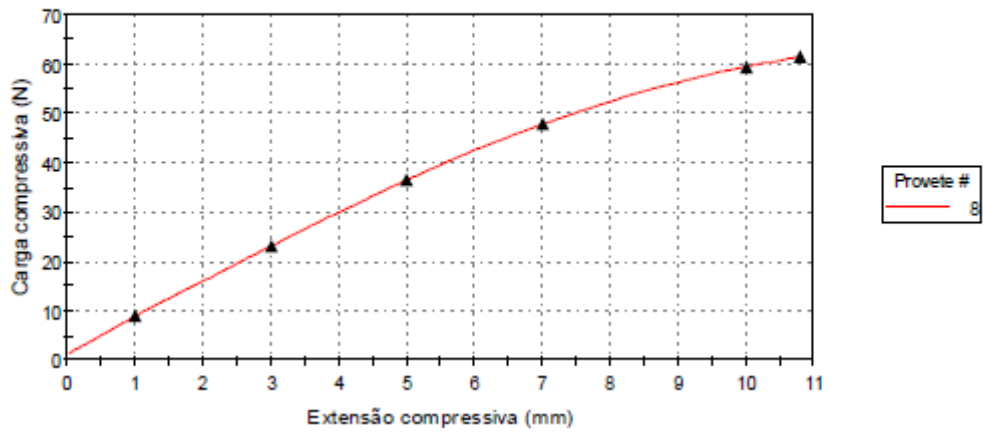
Provete 6 a 6



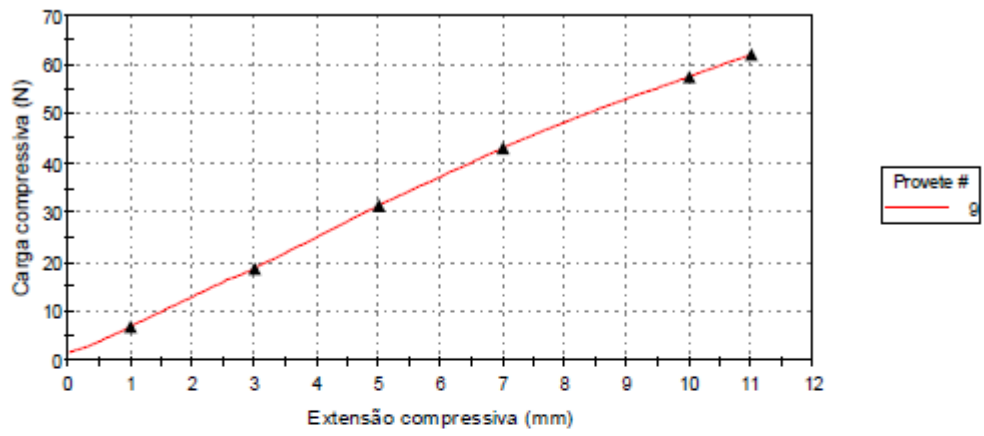
Provete 7 a 7



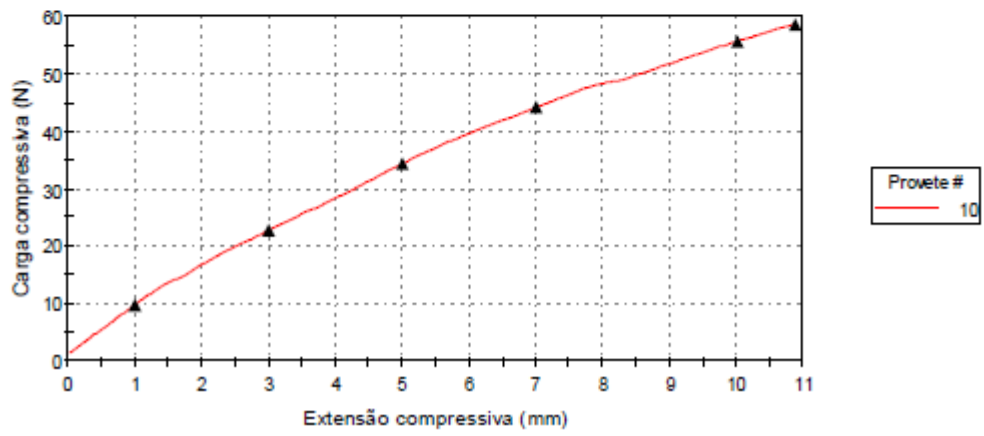
Provete 8 a 8



Provete 9 a 9



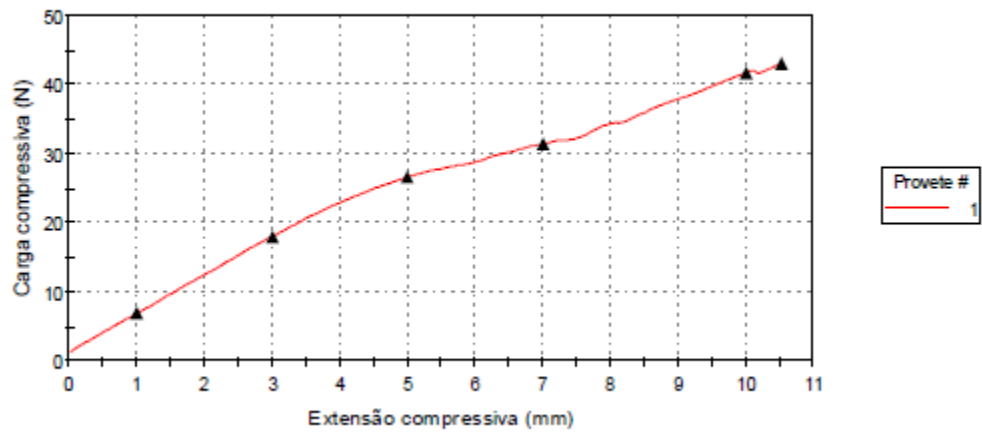
Provete 10 a 10



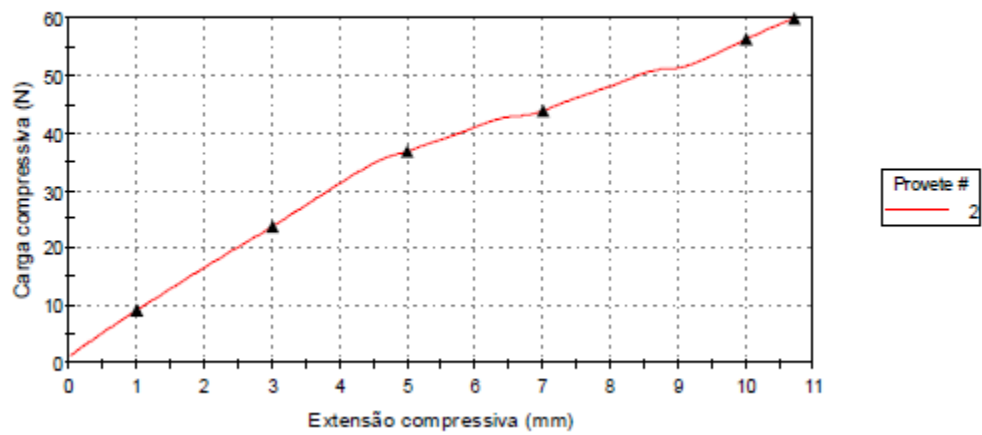
### ANEXO 3

RESULTADO DOS TESTES DE CARREGAMENTO DE CADA CORPO DE PROVA DO GRUPO DOS PARAFUSOS CANULADOS (GT) GERADOS PELA INSTRON

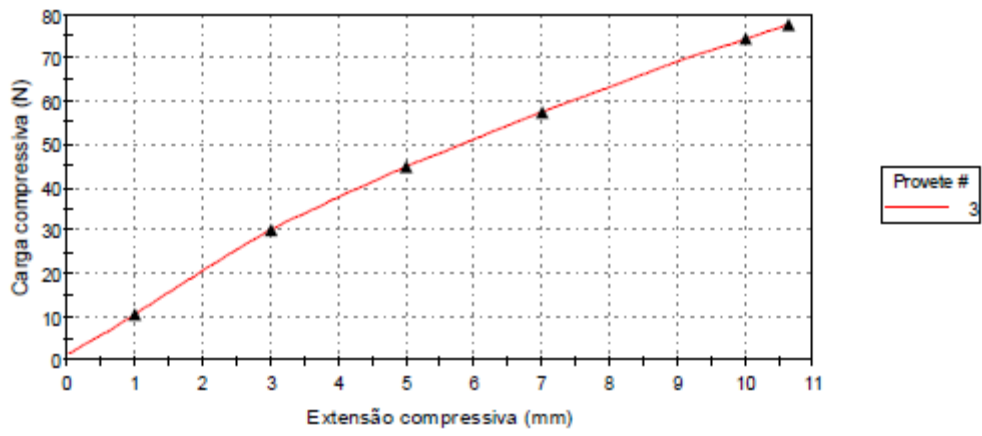
Provete 1 a 1



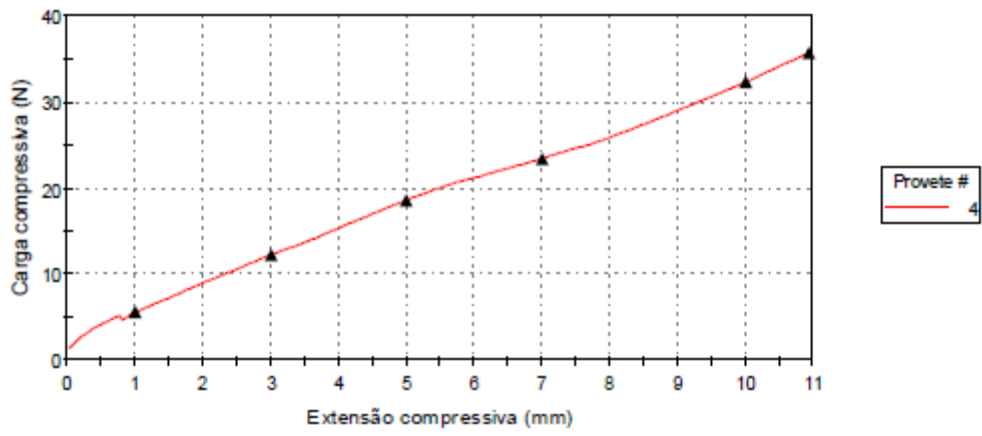
Provete 2 a 2



Provete 3 a 3

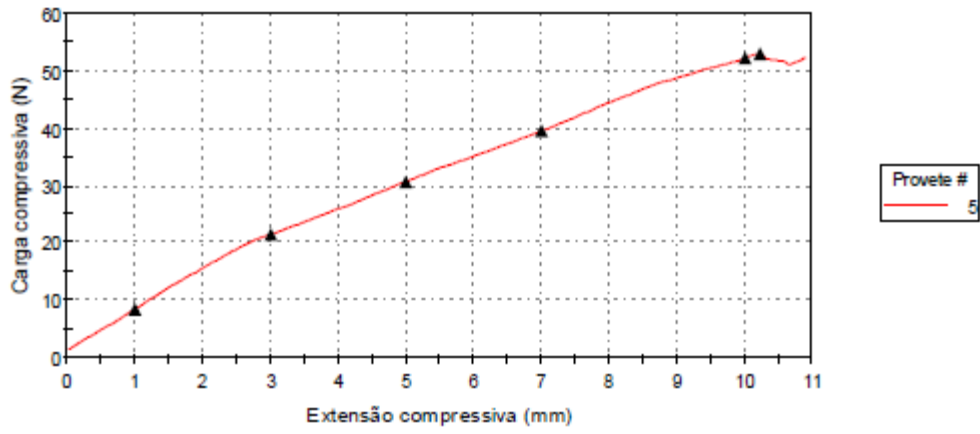


Provete 4 a 4

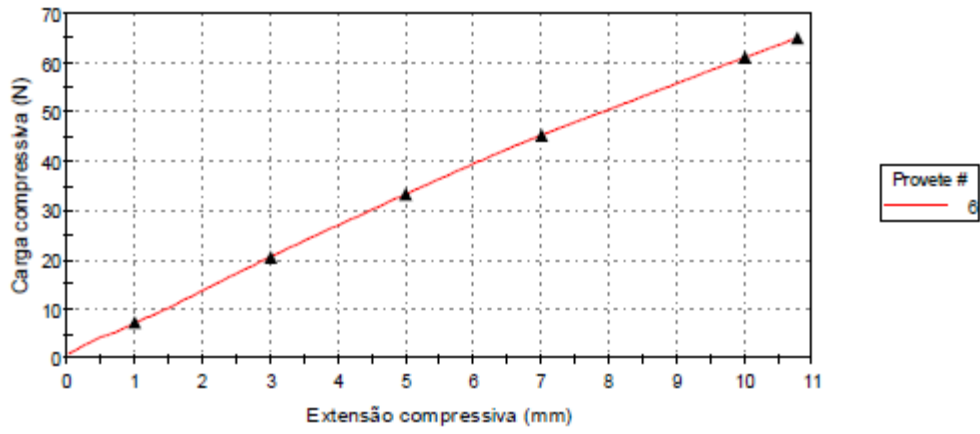




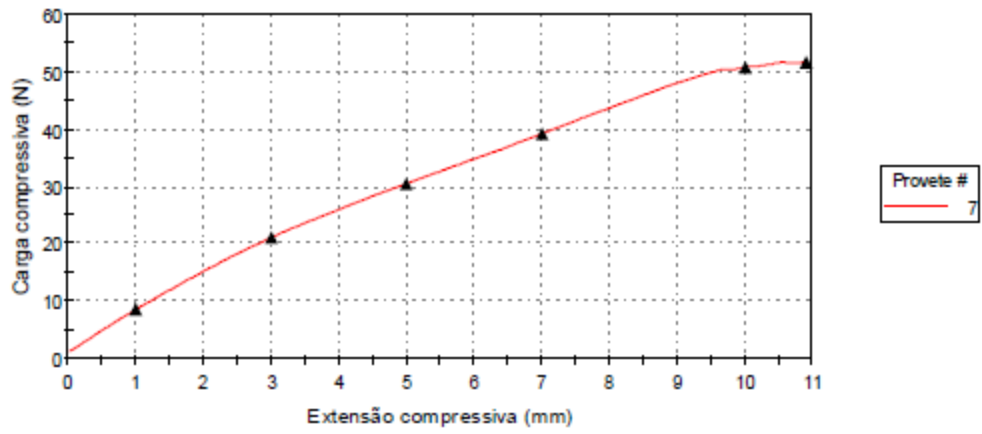
Provete 5 a 5



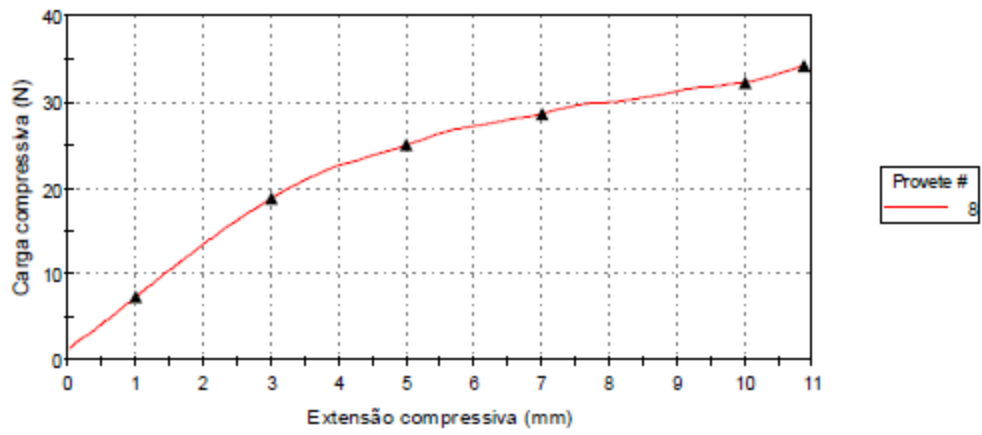
Provete 6 a 6



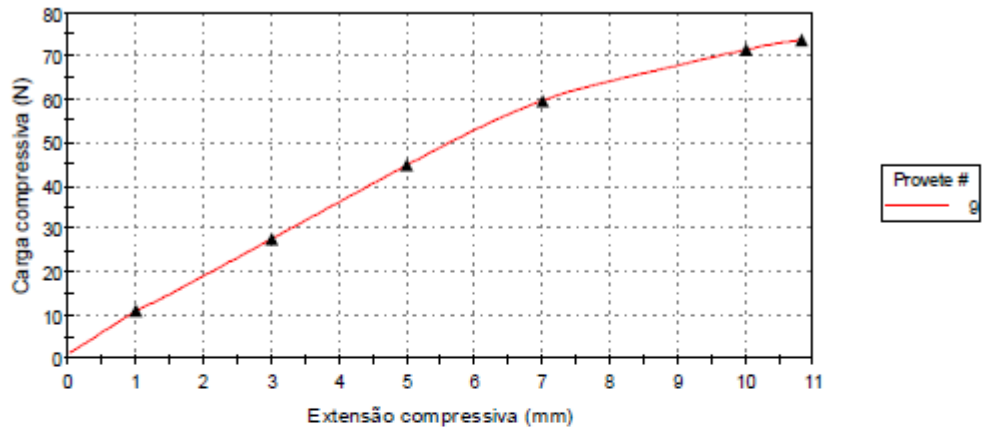
Provete 7 a 7



Provete 8 a 8



Provete 9 a 9



Provete 10 a 10

