

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 06/06/2027



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Araçatuba

BEETHOVEN ESTEVAO COSTA

**DESEMPENHO BIOMECÂNICO *IN VITRO* DE SISTEMAS DE
FIXAÇÃO NA OSTEOTOMIA SAGITAL DO RAMO
MANDIBULAR PARA GRANDES AVANÇOS
MANDIBULARES COM E SEM ROTAÇÃO ANTIHORÁRIA**

Araçatuba - SP
2025

BEETHOVEN ESTEVAO COSTA

**DESEMPENHO BIOMECÂNICO *IN VITRO* DE SISTEMAS DE
FIXAÇÃO NA OSTEOTOMIA SAGITAL DO RAMO
MANDIBULAR PARA GRANDES AVANÇOS
MANDIBULARES COM E SEM ROTAÇÃO ANTIHORÁRIA**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Odontologia de Araçatuba, para obtenção do título de Doutor em odontologia.

Área de Concentração: Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial

Orientador: Prof. Associado. Dr. Osvaldo Magro Filho

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Domingos Ribeiro Júnior

Araçatuba - SP
2025

Catálogo na Publicação (CIP)
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação – FOA / UNESP

C837d Costa, Beethoven Estevão.
Desempenho biomecânico in vitro de sistemas de fixação na osteotomia sagital do ramo mandibular para grandes avanços mandibulares com e sem rotação anti-horária / Beethoven Estevão Costa. - Araçatuba, 2025
34 f. : il. ; tab.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Odontologia, Araçatuba
Orientador: Prof. Osvaldo Magro Filho
Coorientador: Prof. Paulo Domingos Ribeiro Junior

1. Osteotomia 2. Fixação interna de fraturas 3. Mandíbula 4. Fenômenos biomecânicos 5. Modelos animais 6. Cirurgia bucal I. T.

Black D7
CDD 617.64

Dedico este trabalho à Dedico este
trabalho às minhas queridas avós, **Nilza
Antunes da Costa e Maria da
Conceição Ferreira** (in memoriam),
mulheres de fé e caráter inestimável, que
tiveram papel essencial na minha
educação e formação como pessoa. Com
sabedoria e ternura, sempre me
ensinaram a colocar Deus em primeiro
lugar; e, mesmo compreendendo meus
sonhos terrenos, procuraram me guiar no
caminho da Salvação. Suas histórias,
orações e conselhos permanecem vivos
em minhas lembranças, sendo fonte
constante de inspiração, força, fé e amor.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por me abençoar e iluminar em todos os momentos da minha vida. Tudo o que sou é graças a Ele. Em todos os momentos de angústia e aflição, Ele veio ao meu encontro e me socorreu.

À minha esposa e companheira de vida, **Vanessa Abreu Sanchez Marques Costa**, pelo carinho, dedicação, companheirismo e amor. Sua entrega e compromisso com a ciência sempre me motivaram a evoluir profissionalmente. Te amo muito!

Aos meus pais, **Eduardo Costa** e **Magda Costa**, exemplos de superação, determinação e amor incondicional. Obrigado por me conduzirem sempre no caminho certo, por mostrarem que a vida deve ser guiada por nosso **Criador e Salvador, Jesus Cristo**. Sem vocês, eu jamais teria sequer almejado esta vitória. Que Deus continue sempre em meu coração.

Ao meu querido irmão, **Filipe Eduardo Costa**, pelo companheirismo, amizade e amor. Você é um garoto muito especial e pode ter certeza de que sempre estarei ao seu lado, apoiando em tudo.

Ao meu amado filho, **José Miguel Marques Costa**, razão da minha alegria e maior inspiração para seguir lutando e construindo um futuro melhor. Que você cresça cercado de amor, fé e valores verdadeiros.

Aos meus avós, **Francisco Luís da Costa** e **Nilza Antunes da Costa** (in memoriam), por todo amor, apoio e orações. Suas preces me sustentaram nos momentos difíceis vividos em Bauru. À minha querida avó **Maria da Conceição Ferreira (in memoriam)**, mulher de fibra, garra e um coração repleto de amor e caridade, sempre foi exemplo de superação e determinação. Mesmo com o Alzheimer, tenho certeza de que a senhora continuava querendo o nosso melhor. A senhora estará para sempre em meu coração.

A todos os meus familiares em Minas Gerais, que mesmo distantes, sempre torceram por mim e desejaram o meu melhor.

À minha sogra, **Jeovanete França Abreu Marques**, e à minha cunhada, **Erika Abreu Sanches Marques**, por me acolherem com tanto carinho em seus lares e me mostrarem como a bondade pode transformar vidas.

Ao meu orientador, **Prof. Associado Dr. Osvaldo Magro Filho**, pela orientação firme, dedicação e confiança depositada ao longo dessa jornada. Sua experiência e conhecimento foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Ao meu coorientador, **Prof. Dr. Paulo Domingos Ribeiro Júnior**, pela valiosa colaboração, sensibilidade e pela liberdade que me concedeu para seguir a linha de pesquisa com a qual me identifico, permitindo-me desenvolver um projeto internacional sob sua coordenação. Seus ensinamentos, generosidade intelectual e apoio contínuo foram pilares essenciais para a realização deste trabalho.

À Pós-graduação da **Faculdade de Odontologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP**, câmpus de Araçatuba, pela estrutura, suporte e oportunidade de formação de excelência.

Aos colegas da pós-graduação de Araçatuba, com quem compartilhei aprendizados, desafios e conquistas. Obrigado pela parceria, troca de experiências e amizade ao longo dessa jornada.

A todos os meus queridos colegas e amigos de Araçatuba — **Paulo, Isabela, Maísa, Carol**, — pela amizade, parceria e por compartilharem comigo os desafios e conquistas desta caminhada. A convivência com vocês foi essencial para tornar essa jornada mais leve, humana e enriquecedora.

Agradeço também a **todos os professores da área de Cirurgia da pós-graduação da UNESP Araçatuba**, pelo conhecimento compartilhado, pela dedicação e pela inspiração contínua que transmitem a cada aula, orientação e exemplo.

Ao **Departamento de Diagnóstico e Cirurgia da Faculdade de Odontologia da UNESP Araçatuba**, pelo apoio institucional e científico fundamental para a realização deste trabalho.

À **Santa Casa de Araçatuba**, pela colaboração, infraestrutura e disponibilidade que contribuíram significativamente para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao **Programa de Residência em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial da Santa Casa de Jaú**, pela parceria e apoio constante ao longo da formação clínica e científica.

Ao **Instituto Odontológico De Cirurgia e Prótese – IOCP**, em Bauru, por fazer parte da minha trajetória profissional e acadêmica, sendo um espaço de acolhimento, ensino e crescimento mútuo.

À minha nova família em Bauru — **Luciana, João, Guilherme e Henrique** —, pelo carinho e acolhimento.

Aos meus "novos avós" em Bauru — **Nilton Gulinelli, Neusa Gulinelli** e toda a sua família —, meu profundo agradecimento por cada momento vivido. Vocês são parte da minha vida e agradeço a Deus pela oportunidade de conhecê-los.

Aos mestres e amigos **Dr. Guilherme Alves Oliveira, Dr. Gabriel Cury, Ms. José Laurenti**, por suas palavras constantes de incentivo. Em especial, ao querido amigo **Dr. Nicolau Babadopulos**, que foi como um pai em Bauru: ser humano de alma pura e coração imenso. Meu eterno e sincero obrigado.

Aos amigos de Bauru: **Prof. Dr. Roberto Kawakami, Dr. Pedro Amorim**.

Aos meus professores em Bauru: **Prof. Dr. Luis Eduardo Marques Padovan, Prof. Dr. Hugo Nary Filho e Profa. Dra. Ivete Aparecida de Mattias Sartori**, por todo apoio e incentivo no caminho da docência.

Aos mestres que moldaram minha formação: **Dra. Flavia Isabela Barbosa, Ms. Verediano Silveira, Dr. Frank Ferreira Silveira**. Vocês são referência de ética, profissionalismo e conhecimento. Em especial, ao querido mestre e amigo, Dr. Wilson Batista Mendes — exemplo de ser humano, não apenas pelo seu imenso conhecimento, mas por seu caráter nobre e seu lado humano inestimável.

Aos eternos amigos e conselheiros, **Gabriel Duarte e Nataira Momesso**. Sem o apoio e carinho de vocês, esta jornada teria sido muito mais difícil. Todo o meu respeito e gratidão.

À **Tufts University**, pela disposição e apoio em disponibilizar parte da estrutura necessária para a realização desta pesquisa. Sou imensamente grato pela oportunidade de aprendizado e desenvolvimento em um ambiente acadêmico internacional de excelência.

“O Senhor é o meu pastor, nada me
faltará.”

Salmos 23:1

RESUMO GERAL

COSTA, B. E. **Desempenho biomecânico *In vitro* de sistemas de fixação na osteotomia sagital do ramo mandibular para grandes avanços mandibulares com e sem rotação antihorária.** 2025. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Araçatuba, 2025.

Este estudo *in vitro* teve como objetivo avaliar a estabilidade biomecânica de cinco diferentes métodos de fixação após osteotomia sagital do ramo mandibular (OSRM). Foram utilizadas 48 hemimandíbulas de poliuretano, divididas em dois grupos: o Grupo 1 foi submetido a um avanço linear de 10 mm, e o Grupo 2 a um avanço de 10 mm com rotação anti-horária de 20°. Cada grupo foi subdividido em cinco subgrupos (A a E), de acordo com o tipo de fixação: uma placa reta convencional, uma placa angulada, uma placa sagital, uma miniplaca de 10 furos e duas miniplacas de 4 furos. Testes de compressão foram realizados em máquina universal de ensaio até que ocorresse um deslocamento de 3 mm entre os segmentos. Medidas adicionais foram obtidas por meio de extensômetros (strain gauges) e análise digital de imagens. A resistência biomecânica foi maior no Grupo 1 em comparação ao Grupo 2 em todos os subgrupos. O Subgrupo E (duas miniplacas) demonstrou a maior resistência em ambos os grupos, seguido pelas placas de 10 furos e pela placa angulada. O Subgrupo C (placa sagital) apresentou, consistentemente, a menor estabilidade. Diferenças estatisticamente significativas foram encontradas entre os subgrupos dentro de cada grupo ($p < 0,05$). Foram utilizados os testes de Kruskal–Wallis e Dunn com correção de Bonferroni, além de testes de Mann–Whitney ou t de amostras independentes, conforme a normalidade dos dados. Os resultados sugerem que configurações com duas placas oferecem maior estabilidade biomecânica, especialmente em casos que envolvem movimentos mandibulares rotacionais.

Palavras-chave: osteotomia; fixação interna de fraturas; mandíbula; biomecânica; modelos experimentais; cirurgia bucomaxilofacial.

GENERAL ABSTRACT

COSTA, B. E. **In vitro biomechanical performance of fixation systems in sagittal split ramus osteotomy for large mandibular advancements with and without counterclockwise rotation.** 2025. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Araçatuba, 2025.

This *in vitro* study aimed to evaluate the biomechanical stability of five different fixation methods following sagittal split ramus osteotomy (SSRO). Forty-eight polyurethane hemimandibles were divided into two groups: Group 1 underwent 10-mm linear advancement, and Group 2 underwent 10-mm advancement with 20° counterclockwise rotation. Each group was further divided into five subgroups (A to E), based on the fixation design: one conventional straight plate, one angled plate, one sagittal plate, one 10-hole miniplate, and two 4-hole miniplates. Compression testing was performed using a universal testing machine until 3 mm of displacement occurred between segments. Additional measurements were obtained via strain gauges and digital image analysis. Biomechanical resistance was higher in Group 1 than in Group 2 across all subgroups. Subgroup E (two miniplates) demonstrated the highest resistance in both groups, followed by the 10-hole and angled plates. Subgroup C (sagittal plate) consistently showed the lowest stability. Statistically significant differences were found between subgroups within each group ($p < 0.05$). Kruskal–Wallis and Dunn’s post-hoc tests with Bonferroni correction were used, and Mann–Whitney or independent-samples t-tests were applied based on normality. The results suggest that two-plate configurations provide superior biomechanical stability, especially in cases involving rotational mandibular movements.

Keywords: osteotomy; fracture fixation, internal; mandible; biomechanics; experimental models; oral and maxillofacial surgery.

LISTA DE FIGURAS

- Figure 1. Group 1 specimens, with subgroups. The plates were positioned with the aim of obtaining the best biomechanical results. Group 2 specimens, with subgroups. The plates were positioned with the aim of obtaining the best biomechanical results. 16
- Figure 2. Examples of the fixation plates used in each subgroup: (A) conventional straight plate; (B) angled plate; (C) sagittal plate; (D) 10-hole miniplate; (E) two 4-hole miniplates. 17
- Figure 3. Standardization of plates positioned on the hemimandibles 18
- Figure 4. Specimen installed in the test device; compressive forces were applied by the Instron testing machine. 19

LISTA DE TABELAS

Table 1. Pairwise statistical differences (p-values) between subgroups within Group 1 (linear advancement) and Group 2 (advancement with counterclockwise rotation).	20
Table 2. Mean compression load (kN) by fixation subgroup	22

LISTA DE GRÁFICOS

Graphic 1. Pairwise statistical differences (p-values) between subgroups	21
Graphic 2. Mean vertical displacement (mm) by subgroup.	23
Graphic 3. Mean horizontal displacement (mm) by subgroup.	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SSRO	Sagittal Split Ramus Osteotomy
------	--------------------------------

SUMÁRIO

1 INTRODUCTION	14
2 MATERIAL E METHODS	16
3 RESULTS	21
4 DISCUSSION	25
5 CONCLUSION	29
REFERENCES	30

1 INTRODUCTION*

Sagittal split ramus osteotomy (SSRO) is one of the most commonly used surgical techniques for correcting dentofacial skeletal deformities [1-3]. The postoperative stability of this procedure depends on several factors, among which the type of fixation employed is crucial. An inadequate choice of fixation system may lead to complications such as relapse, lack of stability, and condylar displacement, thus compromising surgical success and the functional recovery of the patient [4-6].

Fixation systems based on bicortical screws and miniplates have been widely investigated in both laboratory and clinical studies, demonstrating superior performance in stabilizing bone segments [7-9]. However, the ongoing development of materials and surgical techniques necessitates a deeper biomechanical evaluation of these approaches. Factors such as the magnitude of mandibular advancement and the presence of asymmetries may influence the effectiveness of fixation systems, making it essential to conduct comparative studies analyzing different fixation protocols [10,11].

Additionally, new approaches using resorbable materials have been studied as viable alternatives to titanium systems, focusing on reducing long-term complications such as infections and the need for hardware removal [12,13]. Recent studies highlight biomechanical differences between these materials, particularly in terms of compressive strength and structural rigidity [14].

Preclinical biomechanical studies play a crucial role in validating fixation devices by simulating the mechanical conditions to which the mandible is subjected postoperatively. Among the methods used for this evaluation, compression testing, strain gauge analysis, and 3D computational vision stand out [15,16]. These experimental models provide a better understanding of the stresses generated in fixation systems and their impact on bone stability.

Thus, this study aimed to evaluate the biomechanical performance of five different fixation systems applied to two distinct mandibular advancement

* Formatado de acordo com a Journal of Functional Biomaterials-
<https://www.mdpi.com/journal/jfb/instructions>

movements in SSRO. The data obtained provide valuable insights for clinical decision-making, supporting the optimization of surgical techniques and the development of new fixation devices, thus ensuring greater predictability and safety in orthognathic procedures.

5 CONCLUSION

Despite these limitations, the evidence presented here contributes meaningfully to the ongoing refinement of fixation protocols in mandibular surgery, highlighting the mechanical and clinical advantages of dual-plate systems in scenarios of increased biomechanical demand.

REFERENCES

1. Proffit, W. R.; White, R. P.; Sarver, D. M. *Contemporary treatment of dentofacial deformity*. Mosby: St. Louis, 2003.
2. Reyneke, J. P. *Essentials of orthognathic surgery*. 2nd ed. Quintessence Publishing: Chicago, 2010.
3. Arnett G. W. A redefinition of bilateral sagittal osteotomy (BSO) advancement relapse. *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.* **1993**, *104*, 506–515.
4. Ellis, E., 3rd; Esmail, N. Malocclusions resulting from loss of fixation after sagittal split ramus osteotomies. *J. Oral Maxillofac. Surg.* **2009**, *67*, 2528-2533.
5. Borstlap, W. A.; Stoelinga, P. J.; Hoppenreijds, T. J.; van't Hof, M. A. Stabilisation of sagittal split advancement osteotomies with miniplates: a prospective, multicentre study with two-year follow-up. Part I. Clinical parameters. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* **2004**, *33*, 433-441.
6. Borstlap, W. A.; Stoelinga, P. J.; Hoppenreijds, T. J.; van't Hof, M. A. Stabilisation of sagittal split advancement osteotomies with miniplates: a prospective, multicentre study with two-year follow-up. Part II. Radiographic parameters. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* **2004**, *33*, 535-542.
7. Brasileiro, B. F.; Gempel, R. G.; Ambrosano, G. M.; Passeri, L. A. An in vitro evaluation of rigid internal fixation techniques for sagittal split ramus osteotomies: advancement surgery. *J. Oral Maxillofac. Surg.* **2009**, *67*, 809-817.
8. Oguz, Y.; Watanabe, E. R.; Reis, J. M.; Spin-Neto, R.; Gabrielli, M. A.; Pereira-Filho, V. A. In vitro biomechanical comparison of six different fixation methods following 5-mm sagittal split advancement osteotomies. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* **2015**, *44*, 984-988.
9. Ribeiro-Junior, P. D.; Magro-Filho, O.; Shastri, K. A.; Papageorge, M. B. In vitro biomechanical evaluation of the use of conventional and locking miniplate/screw systems for sagittal split ramus osteotomy. *J. Oral Maxillofac. Surg.* **2010**, *68*, 724-730.

10. Klein, G. B. G.; Mendes, G. C. B.; Ribeiro-Junior, P. D.; Viswanath, A.; Papageorge, M. Biomechanical evaluation of different osteosynthesis methods after mandibular sagittal split osteotomy in major advancements. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* **2017**, *46*, 1387-1393.
11. Pereira Filho, V. A.; Iamashita, H. Y.; Monnazzi, M. S.; Gabrielli, M. F.; Vaz, L. G.; Passeri, L. A. In vitro biomechanical evaluation of sagittal split osteotomy fixation with a specifically designed miniplate. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* **2013**, *42*, 316-320.
12. Gutwald, R.; Schön, R.; Metzger, M.; Kreutzer, K.; Rahn, B.; Schmelzeisen, R.; Sauerbier, S. Miniplate osteosynthesis with four different systems in sheep. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* **2011**, *40*, 94-102.
13. Oguz, Y.; Saglam, H.; Dolanmaz, D.; Uckan, S. Comparison of stability of 2.0mm standard and 2.0mm locking miniplate/screws for the fixation of sagittal split ramus osteotomy on sheep mandibles. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* **2011**, *49*, 135-137.
14. Gutwald, R.; Büscher, P.; Schramm, A.; Schmelzeisen, R. Biomechanical stability of an internal mini-fixation-system in maxillofacial osteosynthesis. *Med. Biol. Eng. Comp.* **1999**, *37*, 280-287.
15. Chiodo, T. A.; Ziccardi, V. B.; Janal, M.; Sabitini, C. Failure strength of 2.0 locking versus 2.0 conventional Synthes mandibular plates: a laboratory model. *J. Oral Maxillofac. Surg.* **2006**, *64*, 1475-1479.
16. Gutwald, R.; Alpert, B.; Schmelzeisen, R. Principle and stability of locking plates. *Keio J. Med.* 2003, *52*, 21-24.
17. Epker, B. N. Modifications in the sagittal osteotomy of the mandible. *J. Oral Surg.* **1977**, *35*, 157-159.
18. Borstlap, W. A.; Stoelinga, P. J.; Hoppenreijns, T. J.; van't Hof, M. A. Stabilisation of sagittal split advancement osteotomies with miniplates: a prospective, multicenter study with two-year follow-up. Part III - condylar remodelling and resorption. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* **2004**, *33*, 649-655.

19. Sato, F. R.; Asprino, L.; Consani, S.; 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*, 160-166.
20. Foley, W. L.; Beckman, T. W. In vitro comparison of screw versus plate fixation in the sagittal split osteotomy. *Int. J. Adult Orthodon. Orthognath. Surg.* **1992**, *7*, 147-151.
21. Armstrong, J. E.; Lapointe, H. J.; Hogg, N. J.; Kwok, A. D. Preliminary investigation of the biomechanics of internal fixation of sagittal split osteotomies with miniplates using a newly designed In vitro testing model. *J. Oral Maxillofac. Surg.* **2001**, *59*, 191-195.
22. Al-Moraissi, E. A.; Al-Hendi, E. A. Are bicortical screw and plate osteosynthesis techniques equal in providing skeletal stability with the bilateral sagittal split osteotomy when used for mandibular advancement surgery? A systematic review and meta-analysis. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* **2016**, *45*, 1195-1200.
23. Sato, F. R.; Asprino, L.; Consani, S.; Noritomi, P. Y.; Moraes, M. A comparative evaluation of the hybrid technique for fixation of the sagittal split ramus osteotomy in mandibular advancement by mechanical, photoelastic, and finite element analysis. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol.* **2012**, *114*, S60-S68.
24. Peterson, G. P.; Haug, R. H.; Van Sickels, J. A biomechanical evaluation of bilateral sagittal ramus osteotomy fixation techniques. *J. Oral Maxillofac. Surg.* **2005**, *63*, 1317-1324.
25. Sato, F. R.; Asprino, L.; Moreira, R. W. F.; Moraes, M. Comparison of postoperative stability of three rigid internal fixation techniques after sagittal split ramus osteotomy for mandibular advancement. *J. Craniomaxillofac. Surg.* **2014**, *42*, e339-e345.
26. Carvalho, P. H. M.; Oliveira, S. D. S.; Favaro, M.; Sverzut, C. E.; Trivellato, A. E. Which type of method shows the best mechanical behavior for internal fixation of bilateral sagittal split osteotomy in major advancements with clockwise rotation? Comparison of four methods. *Oral Maxillofac. Surg.* **2020**, *24*, 485-494.