

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA

Manual de Biomecânica

Introdução aos conceitos da mecânica ortodôntica

MAURÍCIO GUILHERME LENZA

GOIÂNIA
2007

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

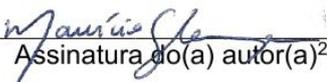
Nome completo do autor: Maurício Guilherme Lenza

Título do trabalho: Manual de Biomecânica. Introdução aos conceitos da mecânica ortodôntica

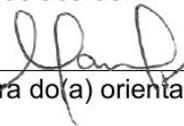
3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento **SIM** **NÃO**¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 30 / 09 / 2019

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² A assinatura deve ser escaneada.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA

Manual de Biomecânica

Introdução aos conceitos da mecânica ortodôntica

MAURÍCIO GUILHERME LENZA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Goiás como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Odontologia - área de concentração em Clínica Odontológica.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Augusto Lenza.
Co-Orientador: Prof. Dr. João Batista de Souza

GOIÂNIA
2007

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Lenza, Maurício Guilherme

Manual de Biomecânica [manuscrito] : Introdução aos conceitos da mecânica ortodôntica / Maurício Guilherme Lenza. - 2007.

f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Augusto Lenza; co-orientador Dr. João Batista de Souza.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Odontologia (FO), Programa de Pós-Graduação em Odontologia, Goiânia, 2007.

Bibliografia.

Inclui siglas, abreviaturas, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Biomecânica. 2. Ortodontia. 3. Força. 4. Momento. I. Lenza, Marcos Augusto, orient. II. Título.

CDU 616.314



Ministério da Educação
Universidade Federal de Goiás
Faculdade de Odontologia

Ata de Nº 39 da sessão de julgamento de
Dissertação junto ao Programa de Pós-Graduação
em Odontologia, área de concentração Clínica
Odontológica, do aluno Maurício Guilherme
Lenza, realizada em 29/10/2007.

Aos vinte e nove dias do mês de outubro de 2007, às 11:00 horas, no sala de aula da pós-graduação FO/UFG, reuniu-se a banca examinadora designada na forma regimental pela Coordenadoria do Programa, para julgar a Dissertação intitulada "Manual de Biomecânica: Introdução aos Conceitos da Mecânica Ortodôntica", apresentada pelo aluno Maurício Guilherme Lenza, como parte de requisitos necessários à obtenção do grau de MESTRE, área de concentração Clínica Odontológica. A Banca Examinadora foi Presidida pelo Dr. Marcos Augusto Lenza, tendo como membros Dr. Gersinei Carlos de Freitas (UFG) e Dr. Flávio Augusto Cotrim Ferreira (USP). Aberta a sessão pública, o candidato teve a oportunidade de expor o trabalho. Após a exposição, o aluno foi argüido oralmente pelos membros da Banca.

() Tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema de sua Dissertação, a Banca concluiu unanimemente pela **aprovação** do candidato.

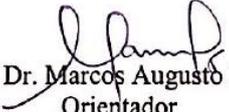
() Não tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema de sua Dissertação, a Banca concluiu pela **reprovação** do candidato, o qual:

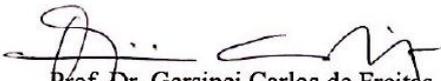
() poderá () não poderá

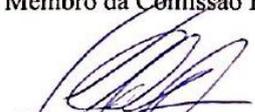
submeter-se a outra defesa em um prazo mínimo de 30 dias e máximo de 90 dias, respeitando o limite de prazo para conclusão do curso.

Nos termos do Regulamento Geral dos Cursos de Pós-Graduação desta Universidade, foi lavrada a presente ata, que lida e julgada conforme, segue assinada pelos membros da Banca Examinadora e pela secretária da Coordenadoria de Pós-Graduação.

Goiânia, 29 de outubro de 2007.


Prof. Dr. Marcos Augusto Lenza
Orientador


Prof. Dr. Gersinei Carlos de Freitas
Membro da Comissão Examinadora


Prof. Dr. Flávio Augusto Cotrim Ferreira
Membro da Comissão Examinadora


Gláucia Terra e Silva
Secretária da Coordenadoria de Pós-Graduação

DEDICATÓRIA

Primeiramente a Deus, que me deu o dom da vida, o dom do discernimento, do sentimento, da razão e do saber.

À minha esposa Milena, que esteve ao meu lado desde o início deste sonho e hoje está comigo vendo-o tornar-se realidade. A você dedico não só este trabalho, mas toda a minha vida, porque juntos, vencemos a mais este desafio, e que diante dos próximos, sejamos mais fortes e unidos para podermos enfrentá-los e vencê-los.

À minha mãe, Ivonete, e ao meu pai, Dimas, que um dia renunciaram seus sonhos por mim e que um dia sonharam ao meu lado, vocês são o exemplo de fé, hombridade, esperança e coragem que formam o meu caráter. Não existem palavras para agradecê-los o suficiente...

Ao Prof. Dr. Marcos Augusto Lenza, meu irmão e meu mestre, que me ensina a crescer, nesta profissão e na vida. Sem sua sabedoria, orientação, dedicação e renúncia eu não estaria onde estou.

Às minhas irmãs Miriam e Mara, que são como mães para mim e que estão sempre presentes em minha vida. O que sou hoje devo a vocês.

Aos meus “pais” Cleumar e Nôra, primeiramente pela minha linda esposa, mas também por todo o apoio, confiança, amizade e amor.

À minha “tia” Myrian fonte de eterna juventude. Obrigado por ter me adotado como mais um sobrinho.

Aos meus sobrinhos Marina, Luis Felipe, Eduardo, André e Adriana e ao meu “sobrinho” Kiko, vocês são o futuro de nossa família.

A toda minha família, vocês são a luz que ilumina o meu caminho e são vocês que estão sempre ao meu lado. É a vocês a quem dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Doutor João Batista de Souza co-orientador deste trabalho, sem o qual essa dissertação não se tornaria realidade. Obrigado pelas inúmeras vezes que cedeu seu precioso tempo e por dividir comigo seu conhecimento. Enfim, por ter acreditado em mim. Sou eternamente grato.

Aos demais docentes do Programa de Pós-Graduação em Odontologia, nível mestrado, área de concentração em Clínica Odontológica da Universidade Federal de Goiás professores doutores: Adérico Santana Guilherme, Aline Carvalho Batista, Cláudio Rodrigues Leles, Elismauro Francisco de Mendonça, Gersinei Carlos de Freitas, Luciane Ribeiro de Rezende Sucasas da Costa, Maria Alves Garcia Santos Silva, Maria do Carmo Matias Freire, Rejane Faria Ribeiro-Rotta, Ricardo Alexandre Zavanelli e Vânia Cristina Marcelo.

Ao professor Dr. Gersinei Carlos de Freitas, diretor da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Goiás por sua dedicação e pela colaboração no Curso.

Aos colegas do curso de Mestrado, pelo convívio nestes anos, em especial aos amigos para todas as horas Adilson e João. Devo muito do que sei a vocês.

Aos funcionários da Pós-Graduação Fábio e Gláucia por serem sempre prestativos e estarem sempre de prontidão.

Aos pacientes, sem os quais o meu aprendizado não seria completo. Anônimos em sua contribuição, mas nunca na minha recordação.

À todos que de uma forma ou de outra contribuíram para minha formação e para a minha vitória neste desafio.

Obrigado!

RESUMO

A compreensão da mecânica aplicada às bases biológicas e a capacidade de empregar estes conhecimentos em situações clínicas são de extrema importância para um bom tratamento ortodôntico. O ramo da ciência que pesquisa e analisa a mecânica dos organismos vivos é denominado de Biomecânica. Para uma melhor compreensão dos princípios de biomecânica empregados em ortodontia, este tema foi condensado em um só produto, abordando de forma gradativa e amplamente ilustrada, desde os conceitos básicos até as razões momento/força.

O objetivo deste trabalho é abordar e explicar os princípios da biomecânica, de forma que alunos, clínicos gerais e especialistas possam compreender o seu potencial prático na ortodontia, estabelecendo assim, uma maior interação entre as ciências exatas (mecânica) e as ciências biológicas (odontologia).

Palavras-chave: biomecânica – ortodontia – força – momento

ABSTRACT

The understanding of the applied mechanics to biological bases and the ability of utilizing this knowledge in clinical situations are of extreme importance for a successful orthodontic treatment. The science that studies and analyzes the mechanics of living organisms is known as Biomechanics. For a better understanding of the biomechanical principles applied in orthodontics, this subject was summarized in this product, gradually presented and widely illustrated, from the basic concepts of biomechanics to moment-to-force ratios.

The purpose of this work is to approach and explain the biomechanical principles, so that students, general practitioners and specialists are able to understand its practical potential in orthodontics, establishing a greater interaction between the exact sciences (mechanics) and the biological sciences (dentistry).

Keywords: biomechanics – orthodontics – forces – moment

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-1 - Força: Agente capaz de alterar o estado de repouso ou de movimento de um corpo.....	16
Figura 1-2 - Força: Agente capaz de alterar a forma de um corpo não rígido.....	17
Figura 1-3 - Grandeza escalar. Exemplo: temperatura	18
Figura 1-4 - Representação esquemática de uma força. A força, como grandeza vetorial, pode ser representada graficamente por uma seta, possuindo então: 1- Intensidade ou magnitude, 2 - Ponto de aplicação, 3 - Linha de ação ou direção e 4 - Sentido.....	19
Figura 1-5 - Diferença entre Direção e Sentido. Retas paralelas (r ; d e e) na mesma direção, com dois sentidos distintos, o sentido da direita para esquerda (d) e o da esquerda para direita (e).	21
Figura 1-6 - F_1 ; F_2 e F_3 são exemplos de forças colineares	21
Figura 1-7 - Exemplos de forças colineares. A – Alças de retração. B – Elástico de retração ou “peixinho”.....	22
Figura 1-8 - F_4 em relação à F_1 ; F_2 e F_3 é um exemplo de força não-colinear.....	22
Figura 1-9 - F_1 e F_2 são forças coplanares.....	23
Figura 1-10 - (A) Elásticos intramaxilares de Classe II e (B) APM – Aparelho de Protração Mandibular: Exemplos de forças não-colineares e coplanares	23
Figura 1-11 - F_3 em relação à F_1 e F_2 é um exemplo de força não-coplanar.....	23
Figura 1-12 - F_3 em relação à F_4 são forças coplanares concorrentes. F_1 em relação à F_2 são forças coplanares paralelas (não concorrentes). F_1 ; F_2 ; F_3 e F_4 são forças não concorrentes e não paralelas.	24
Figura 1-13 - Forças Horizontais (FH) e Forças Verticais (FV)	24
Figura 1-14 - Força contínua: mantém padrão constante entre suas ativações, (T_1 e T_2) nunca chegando a zero.....	25
Figura 1-15 - Força interrompida: declínio constante, chegando a zero, entre as ativações, (T_1 e T_2).....	26
Figura 1-16 - Força intermitente: declina abruptamente a zero retomando o seu declínio e assim por diante, até que seja novamente reativada (T_1 e T_2)	26
Figura 1-17 - Princípio da transmissibilidade. O efeito de uma força aplicada a um corpo não se modifica quando esta é deslocada sobre sua linha de ação. ($F_1 = F_2$).....	27

Figura 1-18 - Exemplo de transmissibilidade. O efeito do aparelho extrabucal depende de sua linha de ação da força.....	28
Figura 1-19 - Resultante. Corresponde a uma única força com o mesmo efeito em um corpo que um grupo de forças aplicado a este.....	29
Figura 1-20 - Decomposição de forças nos elásticos intrabuciais (A) e nos arcos extrabuciais (B). Forças com mesmo efeito em um corpo que uma única força aplicada a este. (FH = Força Horizontal; FV = Força Vertical.).....	30
Figura 1-21 - Regra dos paralelogramos. Método gráfico para se obter a resultante (soma) de duas forças.	31
Figura 1-22 - Regra da linha poligonal. Método gráfico para obtenção da resultante (soma) de duas ou mais forças.....	31
Figura 1-23 - Processo trigonométrico. Método analítico para obtenção da resultante (soma) de duas forças	32
Figura 1-24 - Teorema de Pitágoras. Quando as duas forças formam um ângulo reto	32
Figura 1-25 - Elementos de Trigonometria.	34
Figura 1-26 - Emprego de elásticos utilizados para correção sagital de Classe II (A). Decomposição de força gerada pelo elástico (B)	35
Figura 1-27 - Exemplo do emprego de elásticos utilizados na correção sagital de Classe II estirado em uma distância menor	37
Figura 2-1 - Centro de massa: ponto que se comporta como se toda a massa deste corpo estivesse concentrada nele.....	40
Figura 2-2 - A - Centro de massa coincidente com o centro geométrico. B - Centro de massa e centro geométrico diferentes. C – Centro de massa fora do corpo.....	41
Figura 2-3 - Representação esquemática da diferença entre o Centro de massa (C_M) e Centro de Resistência (C_{RES}) de um incisivo central superior.....	42
Figura 2-4 - Localização do Centro de Resistência (C_{RES}) em dentes com diferentes alturas de osso alveolar. A – Rebordo alveolar normal. B – Rebordo alveolar com perda óssea.....	43
Figura 2-5 - Localização do Centro de Resistência em dentes uni; bi e trirradiculares	44
Figura 2-6 - Dentes com diferentes morfologias e seus respectivos centros de resistência	44
Figura 2-7 - Localização do Centro de Resistência em dentes com diferentes comprimentos radiculares. A – Canino Superior; B – Incisivo Central Superior; C – reabsorção radicular	45

Figura 2-8 - Localização do centro de resistência (C_{RES}) em dentes unirradiculados	45
Figura 2-9 - Localização do centro de resistência (C_{RES}) em dentes multirradiculados....	46
Figura 2-10 - Localização do centro de resistência (C_{RES}) em vista mesial (M), vestibular (V), incisal (I), palatina (P) e distal (D).....	46
Figura 2-11 - Localização do centro de resistência nos molares inferiores (A) e nos molares superiores (B).....	47
Figura 2-12 - Localização do centro de resistência no mesmo dente com inclinações diferentes	47
Figura 2-13 - Localização do centro de resistência para intrusão dos dois incisivos centrais superiores	48
Figura 2-14 - Localização do centro de resistência para intrusão dos incisivos superiores.....	49
Figura 2-15 - Localização do centro de resistência para intrusão dos dentes ântero-superiores.....	49
Figura 2-16 - Localização do centro de resistência altera com a forma do arco dentário	50
Figura 2-17 - Localização do centro de resistência diferentes inclinações de dentes anteriores	50
Figura 2-18 - Localização do centro de resistência para os dentes posteriores de segundo molar à segundo pré-molar (A) e para todo o arco superior. (B)....	51
Figura 2-19 - C_{RES} da maxila.....	51
Figura 3-1 - Translação ou Movimento de corpo: todos os pontos de um corpo se movem na mesma quantidade e direção	55
Figura 3-2 - Movimento rotação: não haverá dois pontos do corpo que se moverão na mesma quantidade e direção	56
Figura 3-3 - Representação gráfica de Força e Momento.....	57
Figura 3-4 - Representação gráfica do Momento de uma Força. O Sentido do momento pode ser determinado por uma prolongação do vetor da força ao redor do C_M	57
Figura 3-5 - Movimento combinado de rotação e translação: Centro de massa translada e gira ao mesmo tempo	58
Figura 3-6 - Binário: Duas forças paralelas, não coincidentes, de mesma magnitude, mesma direção e sentidos opostos	59

Figura 3-7 - Exemplos de binários agindo em diferentes posições: Em A, forças agindo em diferentes lados; em B agindo do mesmo lado. (adaptado de Smith e Burstone – 1984) ⁶	62
Figura 3-8 - Movimento de translação: Centro de rotação (C_{ROT}) no infinito.....	63
Figura 3-9 - Movimento de rotação pura: Centro de rotação (C_{ROT}) coincide com o centro de massa (C_M)	64
Figura 3-10 - Combinação dos movimentos de translação e rotação: Centro de rotação (C_{ROT}) em algum lugar dentro ou fora do corpo.....	64
Figura 3-11 - Construção do centro de rotação (C_{ROT}). (ver texto).....	65
Figura 4-1 - Tipos de movimentação de dentária: (A) Translação; (B) Rotação e (C) combinação de translação e rotação	68
Figura 4-2 - Translação ou Movimento de corpo: todos os pontos do dente se movem na mesma quantidade e direção	69
Figura 4-3 - Movimento de corpo: fibras periodontais distendidas de forma homogênea.....	69
Figura 4-4 - Translação ou Movimento de corpo	69
Figura 4-5 - Translação: linha de ação da força direcionada pelo braço de força (“Power arm”).....	70
Figura 4-6 - Translação: linha de ação da força passando sobre o C_{RES} do molar, direcionada pelo braço externo de um arco extrabucal	70
Figura 4-7 - Translação: linha de ação da força direcionada pelo braço externo de um arco extrabucal sobre o C_{RES} da maxila.....	70
Figura 4-8 - Movimento de rotação: não haverá dois pontos do corpo que se moverão na mesma quantidade e direção	71
Figura 4-9 - Momento de uma força: Magnitude da força multiplicada pela distância perpendicular da linha de ação da força até o C_{RES} do dente (adaptado de Smith e Burstone – 1984). ⁶	72
Figura 4-10 - Representação gráfica do Momento de uma Força. O Sentido do momento pode ser determinado por uma prolongação do vetor da força ao redor do C_{RES}	73
Figura 4-11 - Movimento combinado de rotação e translação: Em A translação, em B rotação pura e em C a combinação dos movimentos. O Centro de resistência translada (A) e gira (B) ao mesmo tempo.....	74
Figura 4-12 - Binário: Duas forças paralelas, não coincidentes, de mesma magnitude, mesma direção e sentidos opostos. (adaptado de Cotrin-Ferreira, 2002) ⁴⁴ ...	75

Figura 4-13 - Binário: Cálculo de um binário de forças.....	76
Figura 4-14 - Binários aplicados em diferentes posições, gerando momentos de magnitudes iguais	77
Figura 4-15 - Exemplos de diferentes C_{ROT} (em verde). (adaptado de Smith 1984) ⁶	78
Figura 4-16 - Movimento de translação: Centro de rotação (C_{ROT}) no infinito	79
Figura 4-17 - Movimento de rotação pura: Centro de rotação (em verde) coincide com o centro de resistência (em vermelho)	79
Figura 4-18 - Exemplos de Binários em primeira, segunda e terceira ordem. (adaptado de Isaacson 2004) ⁹	80
Figura 4-19 - Eixos de rotação dos binários de primeira, segunda e terceira ordem. (adaptado de Oliveira 2000) ¹³	80
Figura 4-20 - Binário de terceira ordem. Forças iguais (F_1 e F_2) com distâncias (d_1 e d_2) e momentos (M_1 e M_2) diferentes	81
Figura 4-21 - Combinação dos movimentos de translação e rotação: Centro de rotação (C_{ROT}) em algum lugar dentro ou fora do corpo	82
Figura 4-22 - Construção do centro de rotação (C_{ROT}).....	83
Figura 4-23 - Centro de rotação (C_{ROT}) durante intrusão dentária. (adaptado de Smith e Burstone 1984) ⁶	83
Figura 4-24 - Movimento curvilíneo	84
Figura 4-25 - Inclinação não-controlada: Ação de uma força simples sobre a coroa de um dente	85
Figura 4-26 - Diferentes distâncias entre a linha de ação da força e o centro de resistência de um dente determinando diferentes posições para os centros de rotação, e conseqüentemente, diferentes tipos de movimentos dentários (Adaptado de Burstone, 2003) ⁴	86
Figura 4-27 - Localização do C_{ROT} (em verde) variando a posição de uma força simples no sentido vertical. (Adaptado de Tanne, 1988) ³⁰	87
Figura 4-28 - Translação: Momento do binário gerado no bráquete de igual magnitude e sentido oposto ao binário gerado pela ação de uma força simples agindo fora do C_{RES} de um dente. Os momentos se anulam restando apenas a força, que faz o dente se movimentar de corpo.....	88
Figura 4-29 - Razão momento/foca: Divide-se o momento de um binário gerado no braquete por uma força simples aplicada na coroa de um dente	89
Figura 4-30 - Representação gráfica da razão momento/foca. (Adaptado de Smith e Burstone, 1984) ⁶	90

Figura 4-31 - Inclinação não-controlada	91
Figura 4-32 - Inclinação controlada.....	91
Figura 4-33 - Translação.....	92
Figura 4-34 - Movimento radicular	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-1 - Funções trigonométricas.....	36
Tabela 4-1 - Tipo de movimentação dentária em relação ao valor da razão momento/força.....	94

LISTA DE ABREVIATURAS

N	newton
Kgf	quilograma-força
gf	grama-força
g	grama
cN	centi-newton
F	Força
m	Massa ou metro (conforme especificado no texto)
a	aceleração
m/s^2	metros por segundo ao quadrado
R	resultante
Σ	somatório
sen	seno
cos	cosseno
tg	tangente
cot	cotangente
H	hipotenusa
”	polegadas
FH	Força horizontal
FV	Força vertical
C_M	Centro de massa
C_{RES}	Centro de Resistência
M	Mesial
V	Vestibular

I	Incisal
P	Palatina
D	Distal
O	Oclusal
G	Gengival
<i>M</i>	Momento
<i>M_f</i>	Momento de uma força
<i>M_b</i>	Momento de um binário
<i>d</i>	Distância perpendicular entre a linha de ação da força e o centro de massa ou centro de resistência de um corpo.
SI	Sistema Internacional de Unidades
<i>C_{ROT}</i>	Centro de Rotação
∞	Representação matemática de infinito
M/F	Razão entre o momento e a força
<i>a</i>	Distância do ponto de aplicação da força até a crista alveolar
L	Comprimento radicular do ápice à crista do rebordo alveolar

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS

1	INTRODUÇÃO	01
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	04
3	OBJETIVOS	06
4	METODOLOGIA.....	08
5	RESULTADO	10
6	DISCUSSÃO	95
7	CONCLUSÕES.....	97
	REFERÊNCIAS	99

1 INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

No tratamento ortodôntico, seja ele realizado por alteração do crescimento, procedimentos de disjunção óssea ou principalmente pela movimentação dentária é fundamental a aplicação dos princípios da mecânica. A compreensão destes princípios aplicados às bases biológicas e a capacidade de empregar estes conhecimentos em situações clínicas são de extrema importância para o sucesso do tratamento ortodôntico.^{1;2}

Biomecânica é o estudo da mecânica dos organismos vivos. A biomecânica em Ortodontia não é apenas uma área teórica a ser ministrada em sala de aula. Conceitos de mecânica são aplicados a qualquer técnica ou filosofia de tratamento ortodôntico.³ A biomecânica aplicada na prática ortodôntica permite a previsão dos efeitos colaterais, onde o que se pensava ser um movimento dentário indesejado e idiopático, durante o tratamento ortodôntico, passa a ser reconhecido como um sistema recíproco de força que pode ser trabalhado antes que se manifeste, de forma a ser evitado ou utilizado a favor do tratamento.⁴ A aplicação dos princípios biomecânicos melhora exponencialmente a eficácia dos aparelhos ortodônticos utilizados.¹⁻⁵

De uma maneira geral, as publicações sobre biomecânica em ortodontia focalizam específicas aplicações de interesse clínico sem uma explicação mais clara sobre a mecânica empregada, ou abordam questões laboratoriais dificilmente extrapoladas para a prática clínica.⁶ Poucos artigos científicos e pouquíssimos livros explicam os princípios da biomecânica aplicada no tratamento ortodôntico de forma que o Cirurgião-Dentista compreenda os conceitos e sua aplicabilidade prática voltada para a clínica odontológica.

O objetivo deste trabalho é coletar, explicar e divulgar os princípios da biomecânica, de forma que alunos, clínicos gerais e especialistas compreendam os conceitos fundamentais e o potencial prático da biomecânica na ortodontia, estabelecendo assim, uma maior interação entre as ciências exatas (mecânica) e as ciências biológicas, no caso, a Odontologia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura é parte integrante do produto desta dissertação, e como tal está referenciada como resultado.

3 OBJETIVOS

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Desenvolver um material didático direcionado ao ensino da odontologia e melhor compreensão dos princípios de mecânica aplicados em ortodontia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Apresentar de maneira clara e amplamente ilustrada, os conceitos básicos de mecânica necessários para a prática ortodôntica.
2. Condensar informações esparsas presentes na literatura sobre mecânica ortodôntica e torná-las mais compreensíveis para a utilização durante a movimentação dentária.

4 METODOLOGIA

METODOLOGIA

1 ESTUDO BIBLIOGRÁFICO RESTROSPECTIVO.

Revisão de temas sobre mecânica e biomecânica, disponíveis na literatura nas áreas de ciências exatas (mecânica) e as ciências biológicas (ortodontia).

2 SELEÇÃO, ORGANIZAÇÃO E ILUSTRAÇÃO DO CONTEÚDO.

Condensar informações esparsas presentes em livros e artigos sobre mecânica e biomecânica, selecionar os assuntos necessários para uma introdução aos conceitos fundamentais de mecânica utilizados na prática ortodôntica, organizar de forma seqüencial, lógica e gradativa este conteúdo e ilustrá-lo de forma clara e compreensível,

5 RESULTADO

MECÂNICA ORTODÔNTICA
CONCEITOS BÁSICOS E SUAS APLICAÇÕES

CONCEITOS

1. Biomecânica

Numa análise morfológica da palavra, pode-se decompor o termo em duas partes. No prefixo “bio”, de vida, relativo aos seres vivos e, mecânica, que é o ramo da física que estuda forças e movimentos.

A biomecânica é um ramo da ciência que pesquisa e analisa a mecânica dos organismos vivos, podendo ser realizada em vários níveis, desde uma análise molecular até o nível orgânico.

A primeira publicação conhecida sobre biomecânica é de Aristóteles de 698 a.C. (*De Motu Animalium*)⁷ onde já se tentava compreender o corpo dos animais como um sistema mecânico.

Dentre alguns exemplos da ampla gama de pesquisas realizadas pela biomecânica hoje, podemos citar a aerodinâmica dos pássaros, a hidrodinâmica da forma como os peixes nadam, o voo dos insetos e de uma forma geral o movimento de todos os seres vivos, desde os componentes celulares até o corpo como um todo.

Nos seres humanos, as principais áreas de atuação e estudo estão nas atividades físicas, como esportes, dança e reabilitações. Nas universidades, é uma disciplina oferecida em cursos superiores de Educação Física, Fisioterapia, Terapia Ocupacional e na Odontologia, onde é estudada como parte integrante das disciplinas de Endodontia, Prótese, Implantes e Ortodontia.

Nesta última, o seu conteúdo concentra-se em estudar a forma como os dentes se movimentam em resposta às forças exercidas sobre eles. Estuda-se também o meio pelo qual uma força pode alterar a forma ou o desenvolvimento de um tecido vivo, uma estrutura esquelética, como por exemplo, o crescimento dos ossos e sua remodelação em resposta a forças aplicadas.

2. Mecânica

Mecânica é um ramo da Física que estuda o comportamento dos corpos, quando submetidos a forças, podendo gerar deformações, movimentos, ou ainda, uma inter-relação entre estas.⁸

Em ortodontia, este termo é utilizado para descrever de forma racional e lógica, como determinados procedimentos ou aparelhos agem em um dente, grupos de dentes ou maxilares como um todo.

De acordo com Britto e Isaacson:⁹ (2004, p.209)

“Não existe um princípio mecânico disponível para uma técnica que não esteja disponível para outra. As diferenças entre as técnicas são simplesmente a individualidade incorporada em cada uma delas, na aplicação dos princípios derivados da ciência mecânica”.

Conceitos de mecânica são aplicáveis a qualquer técnica ou filosofia de tratamento ortodôntico,³ facilitando a compreensão de seu modo de ação, e tornando previsível a resposta dentária obtida.

A mecânica, como um ramo da física, é uma disciplina bastante complexa, porém alguns conceitos fundamentais devem estar claros antes de se iniciar o estudo da biomecânica propriamente dita.

Como mencionado anteriormente, a mecânica estuda o efeito das forças sobre os corpos, podendo gerar deformações ou movimentos. Para efeitos práticos, o elemento dentário será considerado um corpo rígido.

Corpos rígidos são sistemas constituídos de partículas (átomos) agregadas de modo que a distância entre as várias partes que constituem o corpo não varia com o tempo, ou seja, as distâncias entre as várias partes que compõem o corpo são rigorosamente constantes, estabelecendo assim, um corpo com forma imutável.^{10;11}

Porém, antes de se compreender a forma como estas forças atuam e suas reações sobre os tecidos vivos, é importante compreender alguns conceitos básicos da mecânica.

das forças

1

Capítulo I - DAS FORÇAS

“Abandonando a razão, e usando a força, à maneira das bestas, o homem se torna o sujeito a ser destruído por aquele contra quem ele usa força”.

- John Locke -

1. Definição:

Para movimentar um corpo em repouso ou alterar a sua velocidade, é necessário que este sofra a ação de algum fator. Ao fator capaz de pôr em movimento um corpo que está em repouso, ou capaz de modificar de alguma forma a sua velocidade, é que Newton denominou **força**.¹²

Em ortodontia, força é empregada para estimular uma resposta dos tecidos adjacentes e desta forma movimentar um dente, grupo de dentes ou modificar o crescimento.

Força pode ser definida como qualquer agente capaz de modificar o estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme de um corpo,¹¹ ou seja, a ação de um corpo sobre outro, causando movimento em um corpo em repouso, ou alterando a velocidade de um corpo já em movimento.⁵ (Figura 1-1)

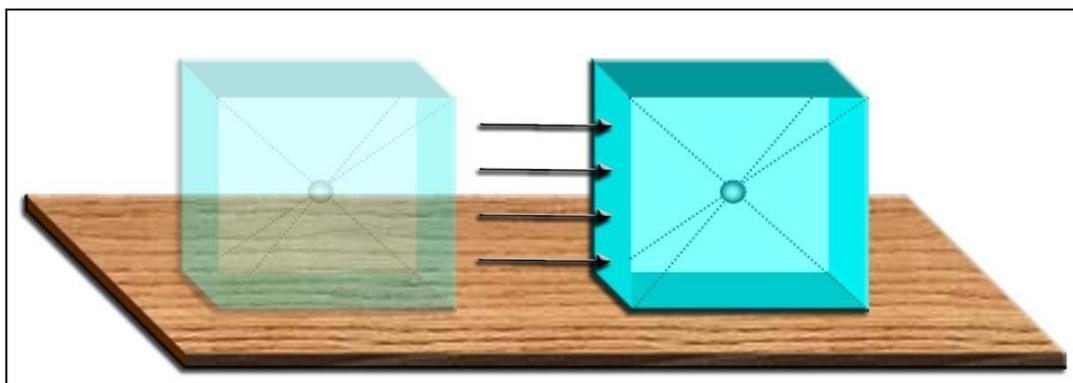


FIGURA 1-1 – Força: Agente capaz de alterar o estado de repouso ou de movimento de um corpo.

A ação de uma força pode alterar a forma de um corpo, desde que este não seja um corpo rígido. Como citado anteriormente, para efeitos práticos, o elemento dentário será considerado um corpo rígido. (Figura 1-2)

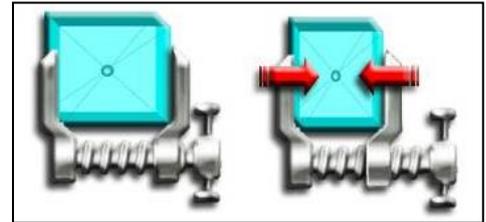


FIGURA 1-2 – Força: Agente capaz de alterar a forma de um corpo não rígido.

2. Sistema de unidades:

A unidade correta para expressar força é Newton (N).^{1;6;9;12-14}

Existe ainda o Sistema Técnico de unidades, no qual a intensidade da força é expressa em quilograma-força (Kgf).^{12;13}

Um quilograma-força equivale a intensidade do peso de um corpo de massa 1 Kg ao nível do mar, onde a aceleração da gravidade possui um valor de aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$. Ou seja, um quilograma-força corresponde a aproximadamente 9,8 newtons:^{1;13}

$$1 \text{ Kgf} = 9,8 \text{ N ou}$$

$$1 \text{ gf} = 0,0098 \text{ N ou ainda}$$

$$1 \text{ N} = 101,971 \text{ g.}$$

Desta forma, um centinewton (cN), unidade de força corretamente utilizada em ortodontia, corresponde a aproximadamente um grama:

$$1 \text{ cN} = 1 \text{ g}$$

De acordo com o princípio fundamental da dinâmica, a segunda lei de Newton, “A resultante das forças aplicadas a um corpo é igual ao produto de sua massa pela aceleração adquirida”. Ou seja, força (F) é igual à massa (m) vezes a aceleração (a). $\mathbf{F} = \mathbf{m} \times \mathbf{a}$

Em ortodontia, a contribuição da aceleração (m/s^2) à magnitude da força é clinicamente irrelevante, portanto a unidade para expressar força tem sido frequentemente substituída por gamas (g).³ Entretanto, apenas o valor numérico da força, independente da unidade empregada, não corresponde na totalidade à caracterização da força. Ainda são necessárias mais algumas informações, como sua direção e sentido.^{3;5;6;8;10-14}

Uma força pode ser adequadamente representada por um segmento de reta orientado, quando este segmento for traçado de forma que seu comprimento indique, em uma escala previamente convencionada, o módulo da força. A direção e o sentido do segmento indicarão a direção e o sentido da força.^{6;12} Caracterizando assim, a força como uma **grandeza vetorial**.

3. Grandezas Escalares e Grandezas Vetoriais:

Propriedades físicas tais como distância, peso, temperatura e força são tratadas matematicamente como grandezas escalares ou grandezas vetoriais.^{6;12-14}

Grandezas escalares:

São completamente definidas por seu valor numérico e sua unidade correspondente. Por exemplo: temperatura, peso, massa, volume, etc. Quando se diz que a altura de um corpo é de 1,80m, não é necessário acrescentar mais informações para se compreender este valor.^{6;12-14} (Figura 1-3)

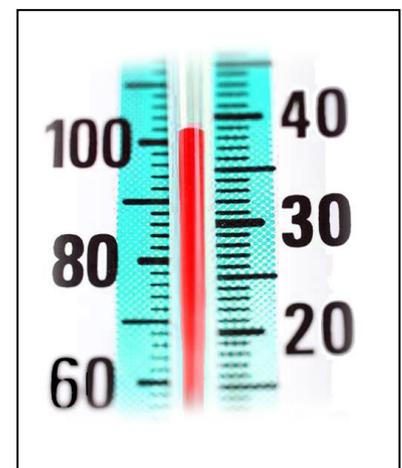


FIGURA 1-3 – Grandeza escalar.
Exemplo: temperatura

Grandezas vetoriais:

São aquelas que necessitam de mais informações além de seu valor numérico e de sua unidade, como direção e sentido, para ficarem bem definidas. São representadas matematicamente por vetores e graficamente por setas.^{6; 12-14} (Figura 1-4)

4. Vetores de força:

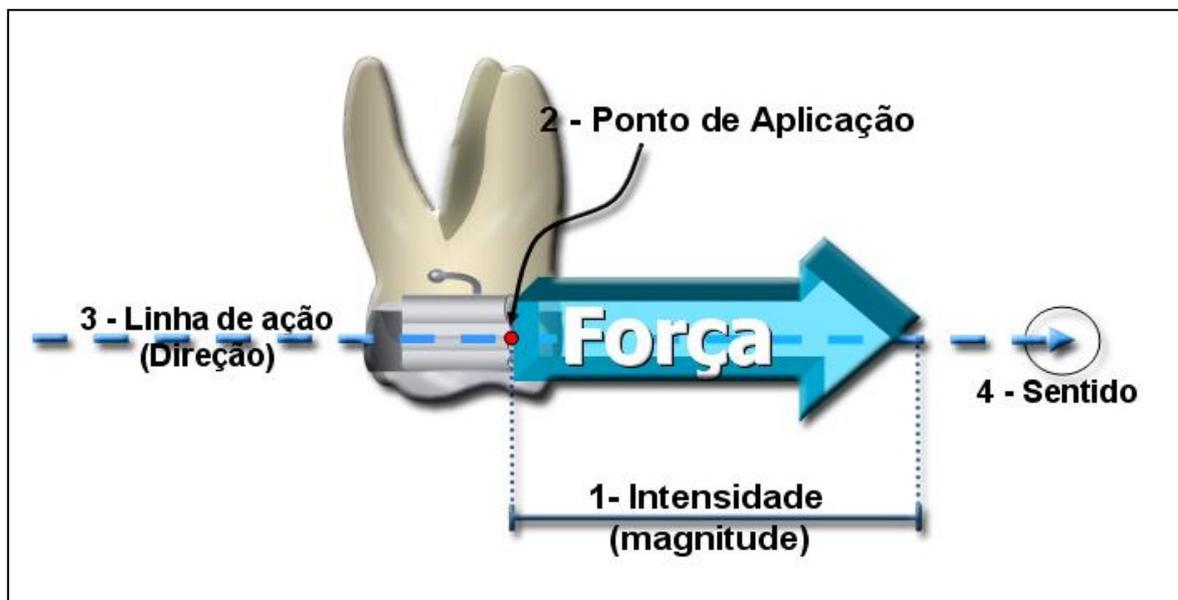


FIGURA 1-4 - Representação esquemática de uma força. A força, como grandeza vetorial, pode ser representada graficamente por uma seta, possuindo então: **1-** Intensidade ou magnitude, **2 -** Ponto de aplicação, **3 -** Linha de ação ou direção e **4 -** Sentido.

A força, como grandeza vetorial, possui desta forma: magnitude, ponto de aplicação, direção e sentido.^{6; 12-14} (Figura 1-4)

- 1 - magnitude.
- 2 - ponto de aplicação.
- 3 - direção.
- 4 - sentido.

1 – **magnitude:** (ou intensidade) é o valor numérico da força, ou o comprimento da seta, de acordo com uma escala arbitrária e pré-definida. Em determinados casos um centímetro de seta pode representar 5 g e em outros, 50 g. O importante é que todas as forças em um mesmo diagrama possuam a mesma escala.

2 – **ponto de aplicação:** é a origem da seta, ou seja, o ponto no corpo onde a força é aplicada.

3 – **direção:** (ou linha de ação da força) é representado pelo corpo da seta. É a orientação no espaço de como a força atua. Diz-se que duas forças têm a mesma direção se elas forem paralelas.^{12;13}

4 – **sentido:** é o lado da direção para onde a força atua.^{12;13} (lado para onde a cabeça da seta aponta).

Diferença entre Direção e Sentido:

Em um conjunto de retas paralelas, todas as retas possuem a mesma direção. A direção é uma característica comum a um eixo de retas paralelas.

A cada direção pode-se associar um sentido ou uma orientação. Uma direção pode ter dois sentidos opostos (por exemplo, na direção vertical podem-se conceber dois sentidos: de baixo para cima e de cima para baixo).

Sentido indica de onde o corpo está saindo e para onde está indo em uma dada direção. (cabeça da seta.)

Considere um conjunto de retas paralelas a uma dada reta r . (Figura 1-5) Direção é o que há de comum entre as retas paralelas (r ; d e e). Nesta mesma direção pode haver dois sentidos distintos, o sentido da direita para esquerda (d) e o da esquerda para direita (e).

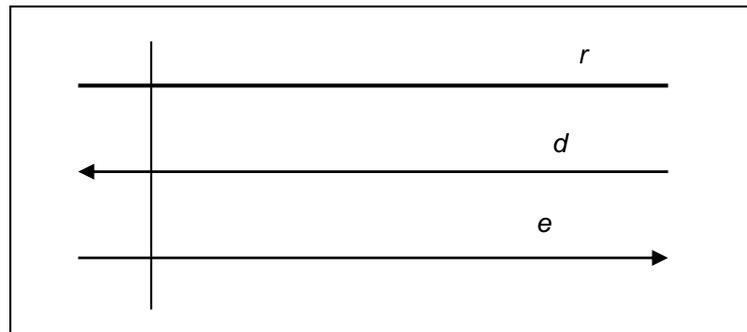


FIGURA 1-5 - Diferença entre Direção e Sentido. Retas paralelas (r ; d e e) na mesma direção, com dois sentidos distintos, o sentido da direita para esquerda (d) e o da esquerda para direita (e).

5. Classificação das forças.

As forças podem ser classificadas em colineares ou não colineares, dependendo da sua linha de ação.

Forças colineares:

Forças colineares possuem a mesma direção, mas não necessariamente o mesmo sentido. (Figura 1-6)



FIGURA 1-6 – F1; F2 e F3 são exemplos de forças colineares.

Na figura 1-6, F1; F2 e F3 são forças colineares, sendo que F1 e F2 estão no mesmo sentido e F3 está em sentido oposto.

Se as forças estiverem agindo sobre um mesmo corpo, a resultante destas se dá pelo cálculo algébrico respeitando os sinais (forças no mesmo sentido, sinais iguais; forças em sentido opostos, sinais diferentes).¹³

Um exemplo de forças colineares em ortodontia são as forças horizontais geradas por alças ou elásticos de retração. (Figura 1-7)

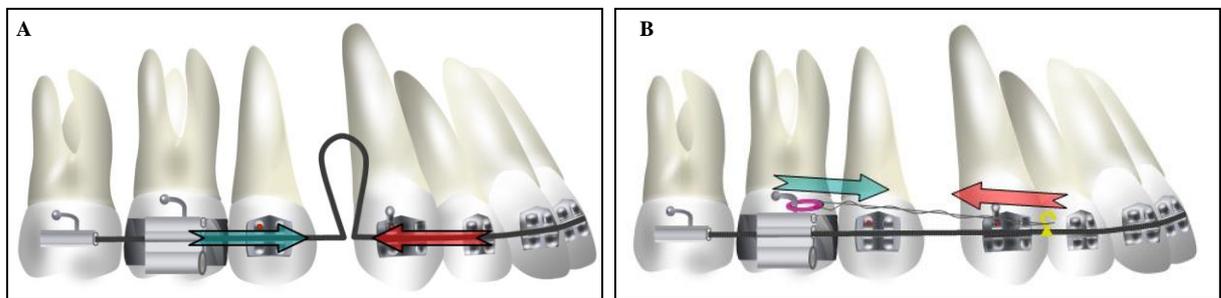


FIGURA 1-7 – Exemplos de forças colineares. **A** – Alças de retração. **B** – Elástico de retração ou “peixinho”.

Forças não-colineares:

Forças não-colineares possuem as linhas de ação das forças não coincidentes. (Figura 1-8)

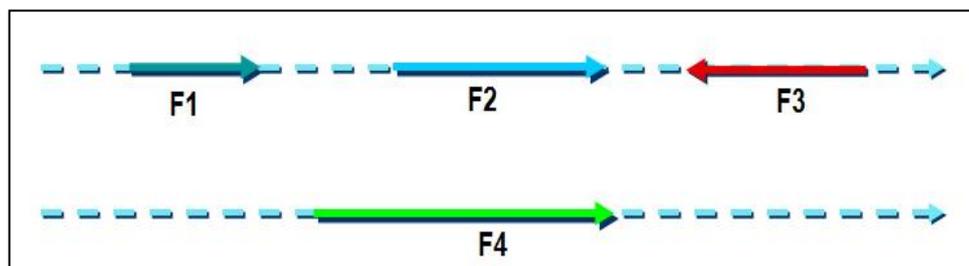


FIGURA 1-8 – F4 em relação à F1; F2 e F3 é um exemplo de força não-colinear.

As forças podem ainda ser classificadas em relação ao plano do espaço em que se encontram.

Se duas ou mais forças estiverem agindo no mesmo plano do espaço são denominadas **forças coplanares**. (Figura 1-9)

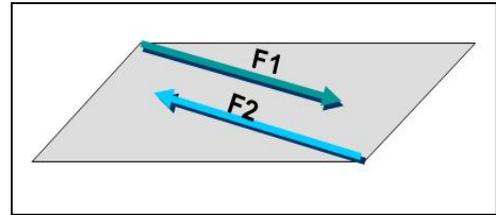


FIGURA 1-9 – F1 e F2 são forças coplanares.

Os elásticos (Classe I; Classe II ou Classe III) quando utilizados bilateralmente são exemplos de forças coplanares.

Forças intramaxilares bilaterais, geradas por dispositivos tais como elásticos, Herbst ou APM (Aparelho de Protração Mandibular) são exemplos de forças não-colineares e de forças coplanares em ortodontia. (Figura 1-10)

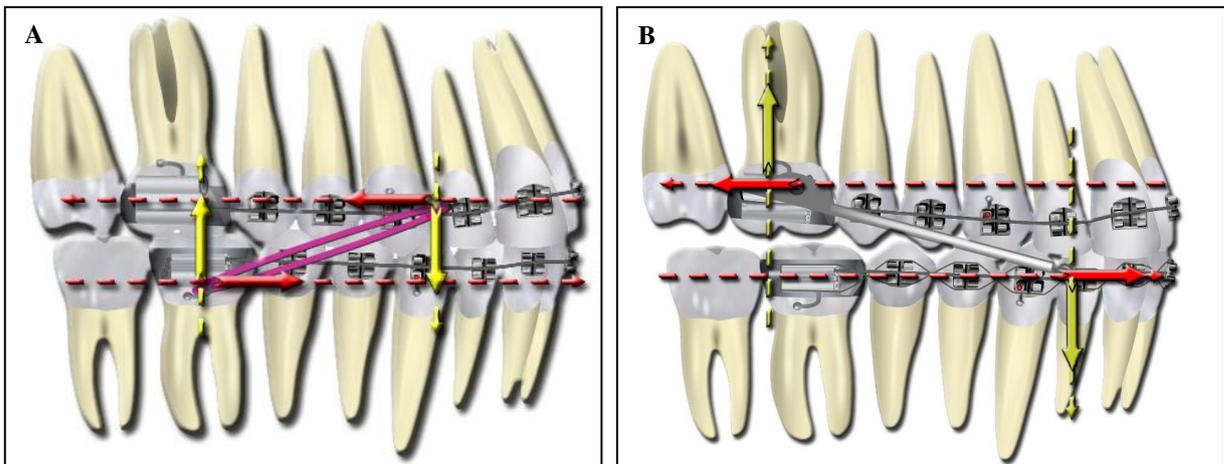


FIGURA 1-10 – (A) Elásticos intramaxilares de Classe II e (B) APM – Aparelho de Protração Mandibular: Exemplos de forças não-colineares e coplanares.

Forças não-coplanares são mais de duas forças que agem em diferentes planos do espaço. (Figura 1-11)

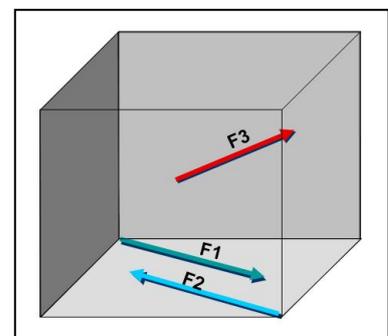


FIGURA 1-11 – F3 em relação à F1 e F2 é um exemplo de força não-coplanar.

- Forças agindo em um mesmo plano:

As forças coplanares podem ser classificadas como: (Figura 1-12)

- coplanares concorrentes,
- coplanares não concorrentes (paralelas) e
- coplanares não concorrentes e não paralelas.

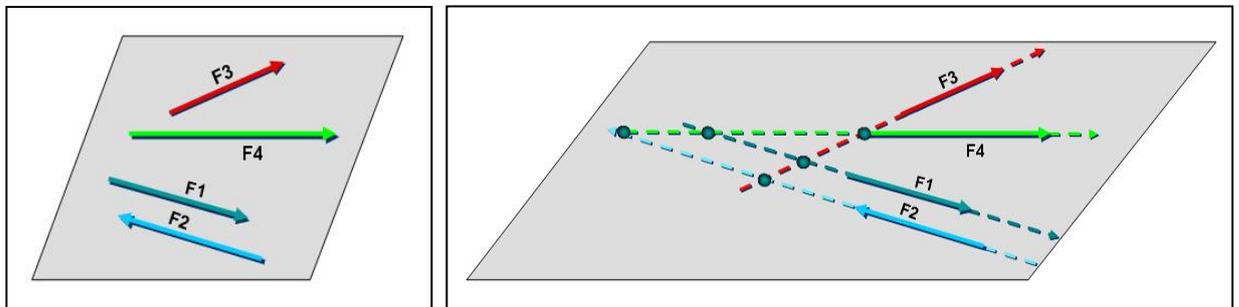


FIGURA 1-12 – F3 em relação à F4 são forças coplanares concorrentes. F1 em relação à F2 são forças coplanares paralelas (não concorrentes). F1; F2; F3 e F4 são forças não concorrentes e não paralelas.

Forças **coplanares concorrentes** possuem um ponto em comum em sua linha de ação.¹³

Forças **coplanares paralelas** (não concorrentes) são aquelas em que sua linha de ação da força não possui ponto em comum, ou seja, nunca se cruzam.¹³ (Em geometria, as retas paralelas se encontram no infinito – também chamado de ponto de fuga)

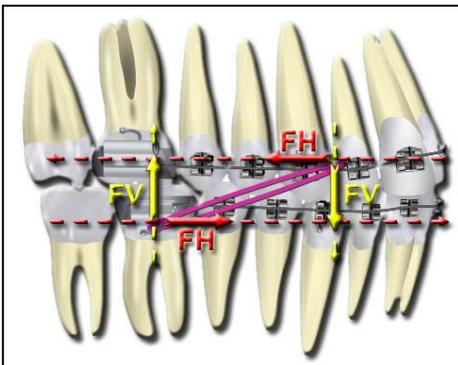


FIGURA 1-13 – Forças Horizontais (FH) e Forças Verticais (FV).

Em ortodontia, quando se decompõe as forças geradas por um elástico intramaxilar, por exemplo, as componentes verticais e horizontais são forças coplanares concorrentes, mas ao observar as forças horizontais ou verticais isoladamente, estas são paralelas. (Figura 1-12)

Existe ainda a possibilidade, ao se tratar de um grupo de forças, destas não serem todas nem paralelas nem concorrentes. Neste caso são denominadas forças **não concorrentes e não paralelas**.

Ao se tratar de forças de um sistema, elas não serão todas nem paralelas nem concorrentes entre si.¹³

5.1. Classificação das forças quanto a sua duração.

A forma como a magnitude da força varia em relação ao tempo permite que esta seja classificada em relação a sua degradação como:^{13;15}

- Força contínua,
- Força interrompida ou
- Força intermitente.

Força contínua: é aquela mantida em um padrão relativamente constante entre suas ativações, nunca chegando a zero.^{13;15} (Figura 1-14)

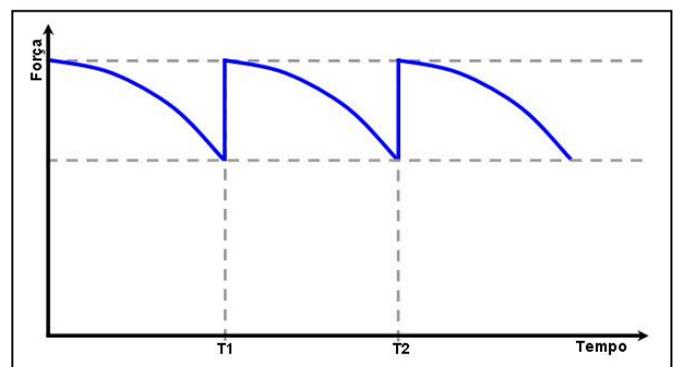


FIGURA 1-14 – Força contínua: mantém padrão constante entre suas ativações, (T1 e T2) nunca chegando a zero.

Em teoria, uma força contínua é aquela que mantém a sua magnitude independente da ação do tempo ou da resposta do corpo que a recebe, porém clinicamente é impossível a aplicação de uma força que se mantenha constante independente da resposta dentária.

A medida que o dente se movimenta, a força tende a diminuir, portanto, é considerada contínua, uma força que mantém o padrão de declínio e reativação constante, nunca chegando a cessar sua ação completamente.

Força Interrompida: é aquela que sofre declínio constante com o passar do tempo, diminuindo sua magnitude até chegar a zero.^{13;15} (Figura 1-15)

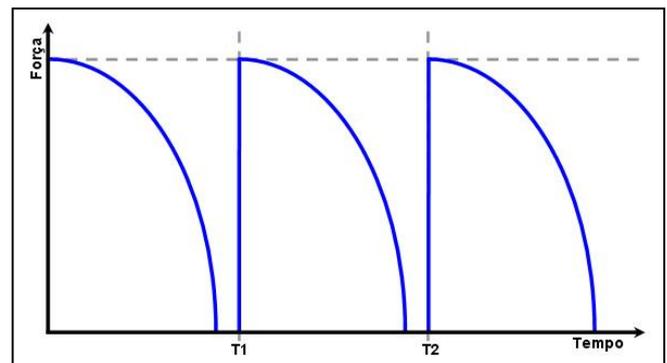


FIGURA 1-15 – Força interrompida: declínio constante, chegando a zero, entre as ativações, (T1 e T2).

Força Intermitente: é aquela cuja magnitude cai subitamente a zero, sendo retomada posteriormente, porém mantendo o declínio, e assim se repete de forma constante até que seja novamente reativada.¹⁵ (Figura 1-16)

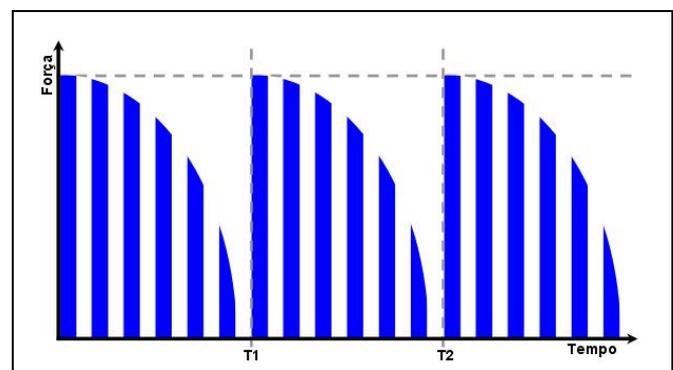


FIGURA 1-16 – Força intermitente: declina abruptamente a zero retomando o seu declínio e assim por diante, até que seja novamente reativada (T1 e T2).

As forças contínuas e interrompidas são obtidas em ortodontia através da utilização de aparelhos ortodônticos fixos, enquanto as forças intermitentes são obtidas pela utilização de dispositivos ortodônticos removíveis. (elásticos, aparelhos extrabucais e aparelhos removíveis.)

6. Princípio da Transmissibilidade:

O princípio da transmissibilidade rege que: “Uma força pode ter seu ponto de aplicação alterado para outra posição no corpo rígido e ainda assim continuar exercendo o mesmo efeito, contanto que esse novo ponto de aplicação esteja na mesma linha de ação da força”.^{1;6;10-13}

As condições atuantes em um corpo rígido permanecerão inalteradas se uma força, que atue em um dado ponto deste corpo, for substituída por outra força de mesma intensidade, direção e sentido, porém que atue em um ponto diferente, desde que as duas forças tenham a mesma linha de ação. (Figura 1-17)

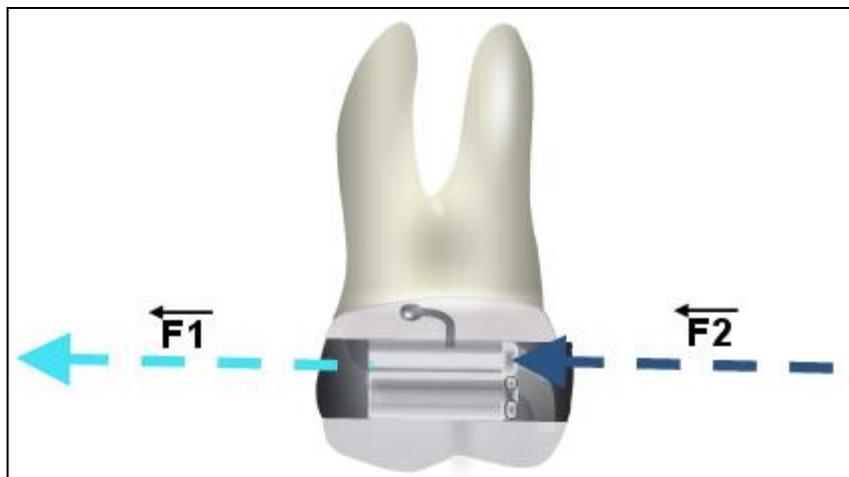


FIGURA 1-17 - Princípio da transmissibilidade. O efeito de uma força aplicada a um corpo não se modifica quando esta é deslocada sobre sua linha de ação. ($F1 = F2$).

O efeito de uma força aplicada a um corpo não se modifica quando esta é deslocada sobre sua linha de ação. Ou seja, não existe diferença se uma força está empurrando ou puxando um corpo, desde que esta possua vetores iguais.

Esse princípio estabelece que a ação de uma força pode ser transmitida ao longo de sua linha de ação, e pode ser encontrado em algumas situações clínicas, como por exemplo a ação de um aparelho extrabucal a um molar. (Figura 1-18)

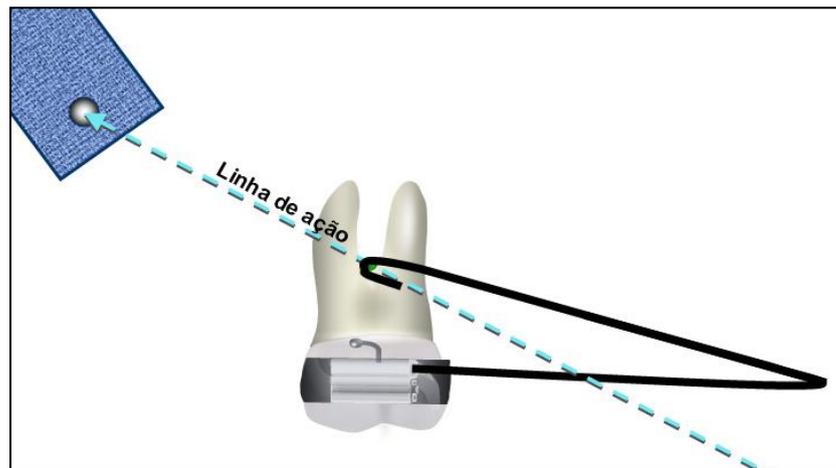


FIGURA 1-18 - Exemplo de transmissibilidade. O efeito do aparelho extrabucal depende de sua linha de ação da força.

A força aplicada fora da boca (extrabucal) é transmitida ao dente por um arco que se encaixa à banda do molar (ponto de aplicação). O efeito do aparelho extrabucal depende de onde passa a linha de ação da força.

Duas forças que possuem o mesmo efeito sobre o corpo rígido são ditas equivalentes.

7. Resultantes e a decomposição de forças:

Freqüentemente um corpo sofre a ação de mais de uma força aplicada ao mesmo tempo. A resposta expressa por este corpo é determinada pela ação destas forças.^{8;12;13}

Porém, ao se trabalhar com vetores, a simples adição numérica de suas magnitudes, quase nunca, corresponderá ao resultado final. (Exceto nos casos em que se localizarem na mesma linha de ação.)

É necessário combinar as forças, de modo a determinar uma única força, ou seja, a sua **resultante**.^{8;10;12-14} (Figura 1-19)

Resultante corresponde a uma única força que possui o mesmo efeito em um corpo que um grupo de forças aplicado a este mesmo corpo.

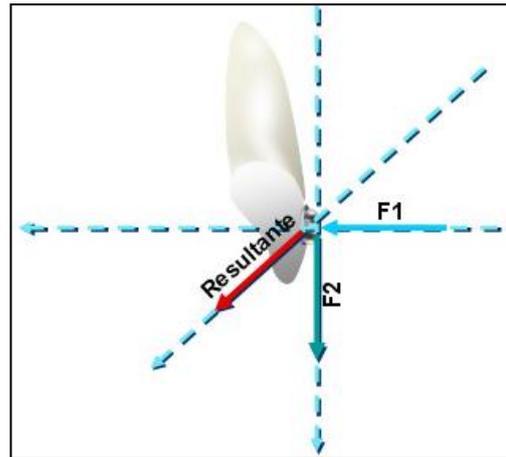


FIGURA 1-19 - Resultante. Corresponde a uma única força com o mesmo efeito em um corpo que um grupo de forças aplicado a este.

Os dentes estão sujeitos a ação de várias forças. Como o movimento dentário é determinado pelo resultado final de todas estas forças, é fundamental saber combiná-las para facilitar a visualização da resposta esperada. O movimento final dos dentes será determinado pela resultante destas forças.⁶

Um dente ou um grupo de dentes se movimenta em resposta ao efeito total de todas as forças; se a resultante for a mesma, o movimento final será o mesmo, independente de quantas forças estão sendo aplicadas.⁶

De certa forma, é necessário decompor uma força para que se possa compreender melhor a sua ação sobre um corpo, como por exemplo o uso de elásticos intrabucais e arcos extrabucais. (Figura 1-20)

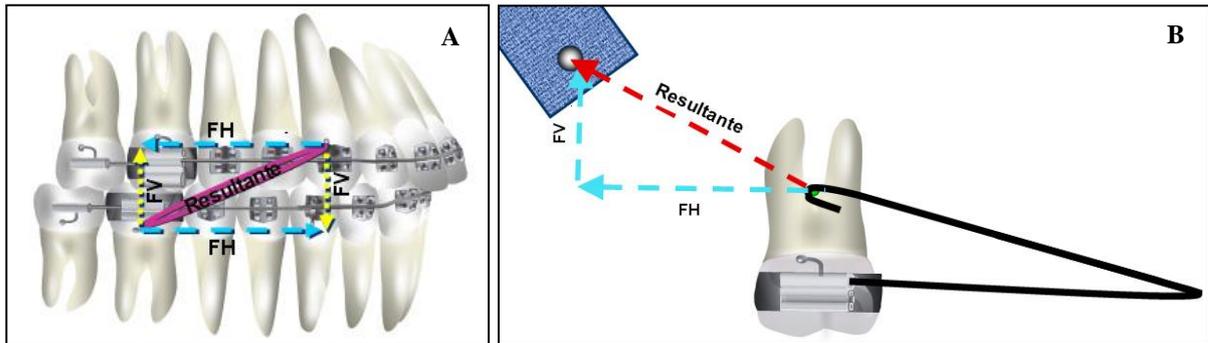


FIGURA 1-20 - Decomposição de forças nos elásticos intrabucais (A) e nos arcos extrabucais (B). Forças com mesmo efeito em um corpo que uma única força aplicada a este. (FH = Força Horizontal; FV = Força Vertical.)

A decomposição de uma força corresponde a um grupo de forças que possuem o mesmo efeito em um corpo que uma única força aplicada a este mesmo corpo.

Uma força pode ser **decomposta** e representada por seus componentes nos três planos do espaço. (eixos x, y e z).^{3;8;10}

8. Determinação da resultante de um sistema de forças:

A resultante da ação de duas ou mais forças pode ser determinada por métodos gráficos (construção geométrica) ou por métodos analíticos.^{1;2;8;12;13}

8.1 - Regra do paralelogramo.

É um método gráfico utilizado para calcular a resultante de duas forças.

A obtenção do vetor soma (resultante) se dá graficamente, através de vetores paralelos transportados, de tal forma que os lados do paralelogramo são as forças, e a diagonal é a resultante.^{1;2;6;8;12;13} (Figura 1-21)

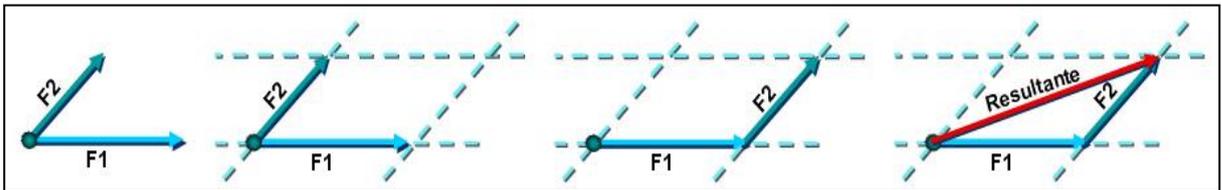


FIGURA 1-21 – Regra dos paralelogramos. Método gráfico para se obter a resultante (soma) de duas forças.

É importante visualizar que a resultante terá a mesma ação no corpo que as duas forças combinadas.⁶

Para encontrar a resultante de mais de duas forças, uma série de paralelogramos podem ser construídos. A resultante de duas forças passa a substituí-las e será utilizada para a construção de um novo paralelogramo.⁶

8.2 - Regra da linha poligonal.

Método gráfico utilizado para calcular a resultante de duas ou mais forças. (Figura 1-22)

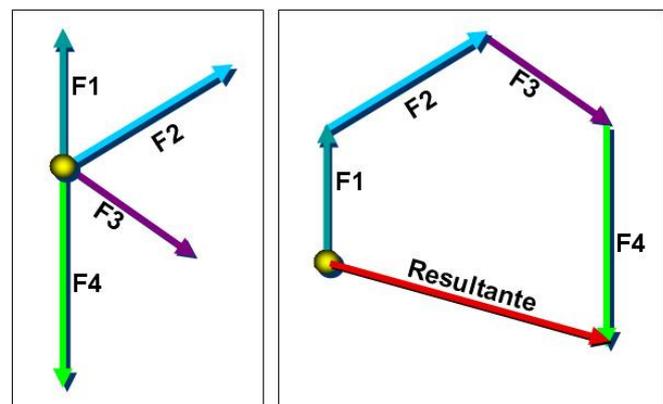


FIGURA 1-22 - Regra da linha poligonal. Método gráfico para obtenção da resultante (soma) de duas ou mais forças.

O vetor soma (resultante) se dá graficamente, através de vetores transportados, de tal forma que a extremidade final de um vetor da origem a outro.

A ordem de colocação não altera o resultado final. O vetor final que deve ser colocado para fechar o polígono é a resultante.

8.3 - Processo trigonométrico.

É um método analítico (matemático) utilizado para calcular a resultante de duas forças.

Tanto a resultante como sua orientação pode ser determinada pelas seguintes fórmulas:

(Figura 1-23)

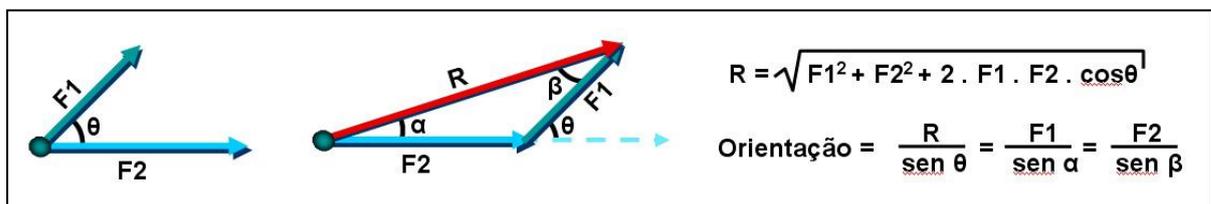


FIGURA 1-23 - Processo trigonométrico. Método analítico para obtenção da resultante (soma) de duas forças.

O teorema de Pitágoras pode ser utilizado quando as duas forças formam um ângulo reto entre si. (Figura 1-24)

“Num triângulo retângulo, o quadrado da hipotenusa é igual à soma dos quadrados dos catetos.”

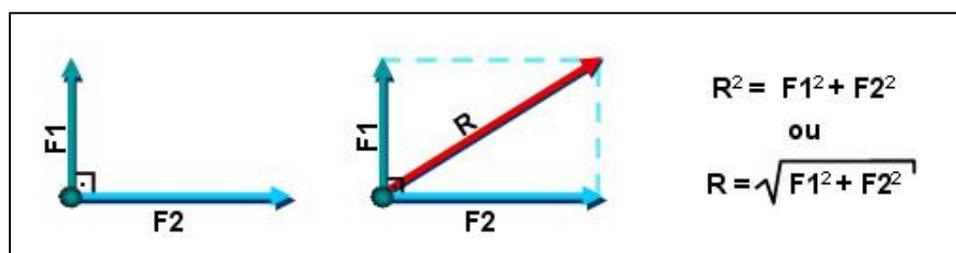


FIGURA 1-24 - Teorema de Pitágoras. Quando as duas forças formam um ângulo reto.

8.4 - Processo analítico.

Método analítico utilizado para calcular a resultante de duas ou mais forças.

Primeiro, decompõe-se cada força nos eixos x e y. (Teorema de Pitágoras)

Para determinar a resultante, utiliza-se a seguinte fórmula: $R = \sqrt{(\Sigma F_x)^2 + (\Sigma F_y)^2}$

Para determinar a direção da resultante, utiliza-se a seguinte fórmula: $\text{tg } \theta = \frac{\Sigma F_y}{\Sigma F_x}$

Onde θ é o ângulo formado entre a resultante e o eixo x.

Comumente utiliza-se a regra dos paralelogramos ou o processo trigonométrico para determinar a resultante de duas forças ou mesmo a decomposição de uma força em duas.

Uma noção básica de Trigonometria é fundamental para se saber a magnitude correta, a direção e o sentido, relacionados à manipulação das forças.^{1;2;12;13}

9. Elementos de Trigonometria.

Trigonometria é um ramo da matemática que estuda os triângulos retângulos, suas relações entre os lados e os ângulos, suas funções trigonométricas, e os cálculos baseados nelas. **Triângulo retângulo** é um triângulo que possui um ângulo de 90° (ângulo reto).

A soma das medidas dos ângulos internos de um triângulo é igual a 180°, portanto, a soma dos outros dois ângulos será igual a 90° (ângulos complementares).^{1;2}

O lado oposto ao ângulo reto é denominado **hipotenusa**. Os lados que formam o ângulo reto (adjacentes a ele) são denominados **catetos**, que recebem o nome de acordo com a sua posição em relação ao ângulo em questão. (cateto oposto ou cateto adjacente ao ângulo

Na figura 1-25, ao se tomar o ângulo α com referência, o lado oposto (a), é o cateto oposto ao ângulo α e o lado adjacente ao ângulo α , (b), é o cateto adjacente ao ângulo α .

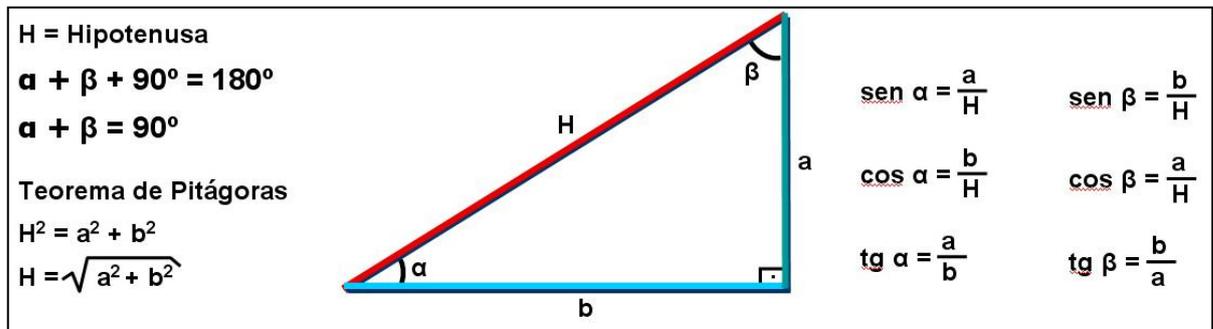


FIGURA 1-25 - Elementos de Trigonometria.

As funções trigonométricas são relações entre os lados do triângulo retângulo e seus ângulos. As três funções mais importantes da trigonometria são: seno, cosseno e tangente.

$$\text{sen}(x) = \frac{\text{cateto oposto a } x}{\text{hipotenusa}}$$

$$\text{cos}(x) = \frac{\text{cateto adjacente a } x}{\text{hipotenusa}}$$

$$\text{tan}(x) = \frac{\text{cateto oposto a } x}{\text{cateto adjacente a } x}$$

A trigonometria é classicamente utilizada em ortodontia quando se deseja saber o valor das forças decompostas durante a utilização de elásticos inter-maxilar ou mesmo, na decomposição da força gerada por um arco extrabucal.

Conhecendo os componentes horizontais, verticais e sua resultante pode-se compreender melhor a ação de uma força e prever os efeitos colaterais gerados pela mesma.

A figura 1-26 mostra um exemplo do emprego de elásticos utilizados para correção sagital de Classe II. Quando estirado do primeiro molar inferior até o gancho na distal de incisivos laterais, um elástico 3/16" leve gera uma força de aproximadamente 150 g.

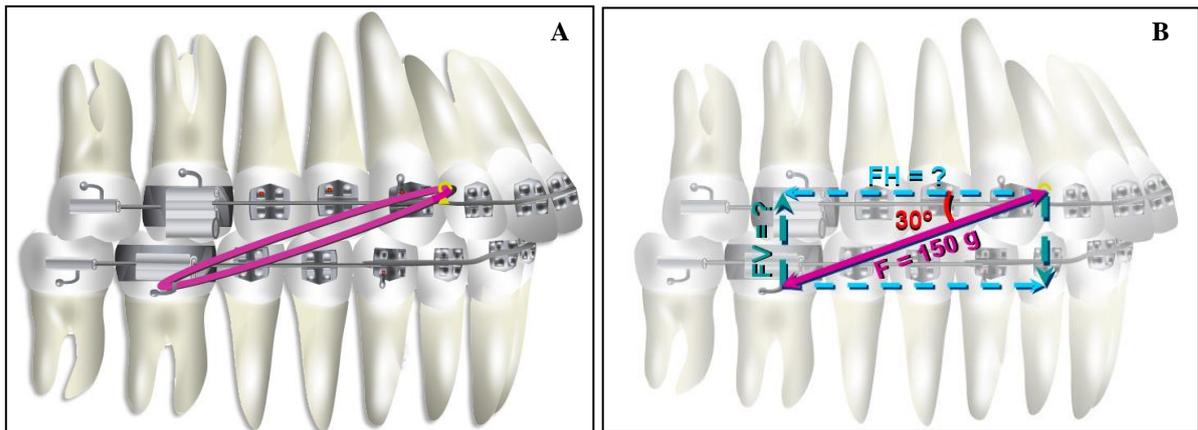


FIGURA 1-26 - Emprego de elásticos utilizados para correção sagital de Classe II (A). Decomposição de força gerada pelo elástico (B).

Estimando um ângulo de aproximadamente 30° entre a componente de força do elástico (hipotenusa) e a componente horizontal de força gerada no gancho do arco superior, é possível determinar a magnitude das forças horizontais e verticais geradas no sistema.

As direções e sentidos podem ser determinadas prontamente através da regra dos paralelogramos, não para determinar a resultante, mas sim para decompô-la.

A componente horizontal de força (FH) é o cateto adjacente; a componente vertical de força (FV) é o cateto oposto e a hipotenusa é a própria força do elástico.(150 g)

Pelas funções trigonométricas de um triângulo retângulo pode-se afirmar que:

$$\begin{aligned} \text{Cateto adjacente} &= \text{hipotenusa} \times \cos(x) \\ \text{Força Horizontal} &= 150 \text{ g} \times \cos 30 \\ \text{Força Horizontal} &= 150 \times 0,866 \\ \text{Força Horizontal} &= 129,9 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cateto oposto} &= \text{hipotenusa} \times \sin(x) \\ \text{Força Vertical} &= 150 \text{ g} \times \sin 30 \\ \text{Força Vertical} &= 150 \times 0,5 \\ \text{Força Vertical} &= 75 \text{ g} \end{aligned}$$

Para facilitar os cálculos, segue a tabela com os valores das funções trigonométricas.

(Tabela 1-1)

Tabela 1-1 - Funções trigonométricas.

(de 0° à 45° lê-se de cima para baixo; de 45° à 90° lê-se de baixo para cima.)

Ângulo	Seno	Cosseno	Tangente	Cotangente	Ângulo
0°	0	1	0	0	90°
1°	0,017452	0,999848	0,017455	57,28996	89°
2°	0,034899	0,999391	0,034921	28,63625	88°
3°	0,052336	0,99863	0,052408	19,08114	87°
4°	0,069756	0,997564	0,069927	14,30067	86°
5°	0,087156	0,996195	0,087489	11,43005	85°
6°	0,104528	0,994522	0,105104	9,514364	84°
7°	0,121869	0,992546	0,122785	8,144346	83°
8°	0,139173	0,990268	0,140541	7,11537	82°
9°	0,156434	0,987688	0,158384	6,313752	81°
10°	0,173648	0,984808	0,176327	5,671282	80°
11°	0,190809	0,981627	0,19438	5,144554	79°
12°	0,207912	0,978148	0,212557	4,70463	78°
13°	0,224951	0,97437	0,230868	4,331476	77°
14°	0,241922	0,970296	0,249328	4,010781	76°
15°	0,258819	0,965926	0,267949	3,732051	75°
16°	0,275637	0,961262	0,286745	3,487414	74°
17°	0,292372	0,956305	0,305731	3,270853	73°
18°	0,309017	0,951057	0,32492	3,077684	72°
19°	0,325568	0,945519	0,344328	2,904211	71°
20°	0,34202	0,939693	0,36397	2,747477	70°
21°	0,358368	0,93358	0,383864	2,605089	69°
22°	0,374607	0,927184	0,404026	2,475087	68°
23°	0,390731	0,920505	0,424475	2,355852	67°
24°	0,406737	0,913545	0,445229	2,246037	66°
25°	0,422618	0,906308	0,466308	2,144507	65°
26°	0,438371	0,898794	0,487733	2,050304	64°
27°	0,45399	0,891007	0,509525	1,962611	63°
28°	0,469472	0,882948	0,531709	1,880726	62°
29°	0,48481	0,87462	0,554309	1,804048	61°
30°	0,5	0,866025	0,57735	1,732051	60°
31°	0,515038	0,857167	0,600861	1,664279	59°
32°	0,529919	0,848048	0,624869	1,600335	58°
33°	0,544639	0,838671	0,649408	1,539865	57°
34°	0,559193	0,829038	0,674509	1,482561	56°
35°	0,573576	0,819152	0,700208	1,428148	55°
36°	0,587785	0,809017	0,726543	1,376382	54°
37°	0,601815	0,798636	0,753554	1,327045	53°
38°	0,615661	0,788011	0,781286	1,279942	52°
39°	0,62932	0,777146	0,809784	1,234897	51°
40°	0,642788	0,766044	0,8391	1,191754	50°
41°	0,656059	0,75471	0,869287	1,150368	49°
42°	0,669131	0,743145	0,900404	1,110613	48°
43°	0,681998	0,731354	0,932515	1,072369	47°
44°	0,694658	0,71934	0,965689	1,03553	46°
45°	0,707107	0,707107	1	1	45°
Ângulo	Cosseno	Seno	Cotangente	Tangente	Ângulo

No exemplo anterior, o componente extrusivo ântero-superior e o pósterio-inferior passam a ser conhecidos. Sabendo que esta força gerada é de 75 g, seus efeitos nos arcos podem ser previstos e evitados quando necessário.

Da mesma forma, fica claro que a força gerada pelo elástico (150 g) não é completamente aproveitada na correção do problema sagital. (As forças horizontais geradas são de aproximadamente 130 g)

Ainda na correção da Classe II, se o elástico for inserido na mesial do primeiro molar inferior (em um ômega ou em um gurin) e não no gancho do tubo, quando estirado até o gancho na distal de incisivos laterais, um elástico 3/16" leve passa a gerar uma força de aproximadamente 100g. (Diminui a distância de estiramento do elástico)

O ângulo entre a componente de força do elástico (hipotenusa) e a componente horizontal de força gerada no gancho do arco superior também é alterado para aproximadamente 40°. Apesar de difícil visualização, a diferença nas forças geradas é drástica. (Figura 1-27)

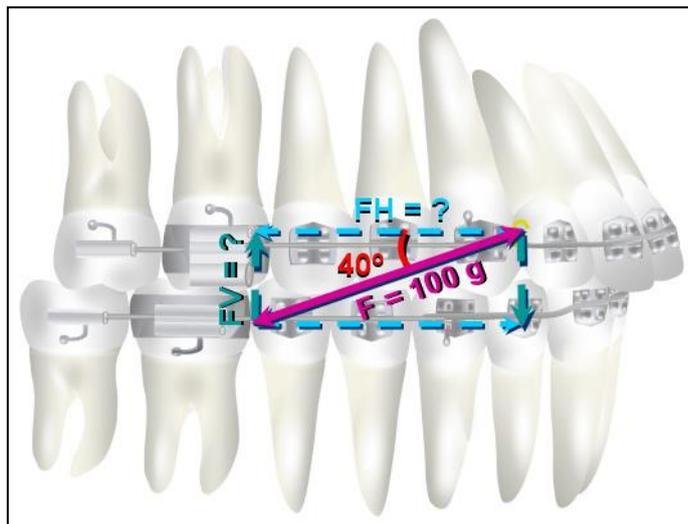


FIGURA 1-27 - Exemplo do emprego de elásticos utilizados na correção sagital de Classe II estirado em uma distância menor.

$$\begin{aligned}\text{Cateto adjacente} &= \text{hipotenusa} \times \cos (x) \\ \text{Força Horizontal} &= 100 \text{ g} \times \cos 40 \\ \text{Força Horizontal} &= 100 \times 0.766 \\ \text{Força Horizontal} &= 76,6 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Cateto oposto} &= \text{hipotenusa} \times \sin (x) \\ \text{Força Vertical} &= 100 \text{ g} \times \sin 40 \\ \text{Força Vertical} &= 100 \times 0.643 \\ \text{Força Vertical} &= 64,3 \text{ g}\end{aligned}$$

O componente extrusivo diminui pouco, apenas 14% (passa de 75 g para 64,5 g) enquanto o componente horizontal diminui bem mais, em quase 40% (de 130 g para 76,6 g).

Este segundo exemplo é indicado nos casos onde se faz necessário um componente extrusivo maior e uma ligeira força horizontal.

Clinicamente, a força gerada pelo elástico no momento que este é inserido na cavidade bucal, pode ser medida utilizando um tensiômetro, porém o ângulo formado entre o elástico e os arcos é praticamente impossível de ser determinado com precisão, isso sem levar em consideração o fato de que a cada vez que o paciente abrir a boca, este ângulo e as respectivas forças geradas por ele serão alteradas. Entretanto ao se estimar o valor deste ângulo, pode-se saber com maior confiança o que está acontecendo com a força quando o paciente está em máxima intercuspidação.

Mesmo com a degradação da força do elástico devido a sua inserção em meio aquoso (saliva), a degradação dos componentes horizontais e verticais se dão de forma proporcional.

Conhecendo as forças geradas, fica mais fácil de se compreender as indicações, limitações e riscos, não somente da utilização dos elásticos, mas das forças aplicadas em ortodontia, de modo geral.

centro de resistência

2

Capítulo II – CENTRO DE RESISTÊNCIA

"Uma comoção descomunal imobilizou-a em seu centro de gravidade, plantou-a no lugar, e a sua vontade defensiva foi demolida pela ansiedade irresistível de descobrir..."

- Gabriel García Marquez -

Introdução:

Força é um agente capaz de modificar o estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme de um corpo, ou ainda modificar a forma deste corpo.¹¹ As forças são associadas a áreas ou a volumes dos corpos sobre os quais elas agem,⁸ seja de forma direta (ponto de contato) ou de forma indireta (linha de ação da força).

A ação de uma força sobre um corpo rígido livre no espaço, depende da linha de ação da força em relação ao centro de massa deste corpo.⁶

Conhecendo o sistema de forças aplicado no centro de massa de um corpo, pode-se prever a resposta deste corpo às forças aplicadas.¹¹

1. Centro de Massa e Centro de Gravidade:

Centro de massa de um corpo qualquer é um ponto que se comporta como se toda a massa deste corpo estivesse concentrada nele.¹⁶ (Figura 2-1) O movimento deste corpo pode ser previsto conhecendo as forças que agem neste único ponto.¹

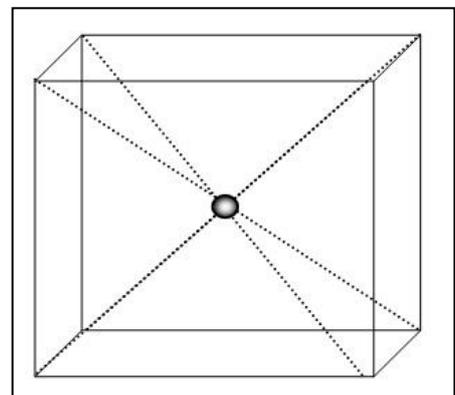


FIGURA 2-1 – Centro de massa: ponto que se comporta como se toda a massa deste corpo estivesse concentrada nele.

Pode-se ainda utilizar os termos **Centróide** ou **Baricentro** para designar o centro de massa de um corpo. Etimologicamente baricentro significa centro de gravidade,¹⁶ mas a denominação se aplica adequadamente a todos os casos, salvo menção explícita em contrário.

Centro de gravidade é um termo usado para denominar o ponto onde um corpo se equilibra levando-se em conta a aceleração da gravidade local.¹⁶

O centro de massa é uma característica intrínseca do corpo e independe de fatores externos; já o centro de gravidade é influenciado pelo campo gravitacional.

Quando o campo gravitacional for uniforme, o centro de massa coincide com o centro de gravidade.¹⁶

Cuidado especial deve ser tomado para não confundir centro de massa com centro geométrico de um corpo. Em alguns corpos estes dois centros podem ser coincidentes (Figura 2-2A) porém na grande maioria das vezes, o centro de massa será diferente do centro geométrico (Figura 2-2B) podendo ainda ocorrer alguns casos onde o centro de massa estará localizado fora do corpo.¹¹ (Figura2-2C)

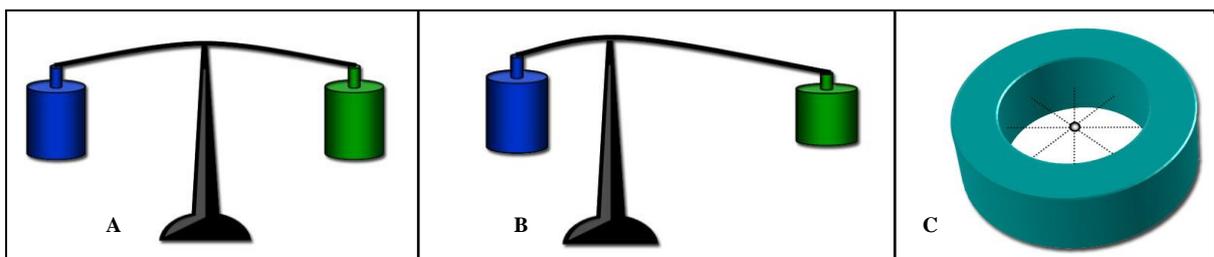


FIGURA 2-2 – **A** - Centro de massa coincidente com o centro geométrico. **B** - Centro de massa e centro geométrico diferentes. **C** – Centro de massa fora do corpo.

As definições de centro de massa e centro gravitacional são aplicadas a corpos livres. Em corpos restritos por outros, como o dente, um ponto análogo ao centro de massa é denominado de centro de resistência.

Vale lembrar que o dente possui centro de massa (C_M), quando fora da cavidade bucal, livre no espaço. Quando restrito pelo periodonto (ligamento periodontal, osso, vasos sanguíneos e tecido conjuntivo) o ponto análogo ao centro de massa é denominado de centro de resistência do dente (C_{RES}). (Figura 2-3)



FIGURA 2-3 – Representação esquemática da diferença entre o Centro de massa (C_M) e Centro de Resistência (C_{RES}) de um incisivo central superior.

2. Centro de Resistência:

O dente *in vivo* não pode ser considerado um corpo livre no espaço pois possui seus movimentos restritos por suas ligações com os tecidos de sustentação que o envolve. Desta forma, o ponto que concentra toda a resistência ao deslocamento não está mais no centro de massa e sim no centro de resistência.¹⁷

Centro de Resistência (C_{RES}) é o ponto análogo ao centro de massa para um corpo restrito por outro(s).^{10;17;18}

Corpos parcialmente fixos possuem o C_{RES} determinado pela natureza das pressões externas.¹⁵ (Como o solo nas fundações de um edifício, ou o periodonto em um dente)

In vivo, o dente reage como um corpo rígido limitado de seus movimentos pelos tecidos periodontais.¹⁰

3. Determinantes na Localização do Centro de Resistência:

A posição do C_{RES} de um dente está intimamente relacionada com:^{1-3;6;9-11;17-19}

- altura do osso alveolar que o circunda, (Figura 2-4)
- número de raízes do dente, (Figura 2-5)
- morfologia radicular (Figura 2-6) e
- comprimento radicular. (reabsorções) (Figura 2-7)

- Altura do osso alveolar que o circunda: (Figura 2-4)

Em pacientes com doença periodontal que apresentam perda óssea, a diminuição da altura do osso alveolar faz com que o centro de resistência se localize mais apicalmente. Ou seja, a posição do C_{RES} varia com a altura do osso alveolar.^{1-3;6;19;22-24;28}

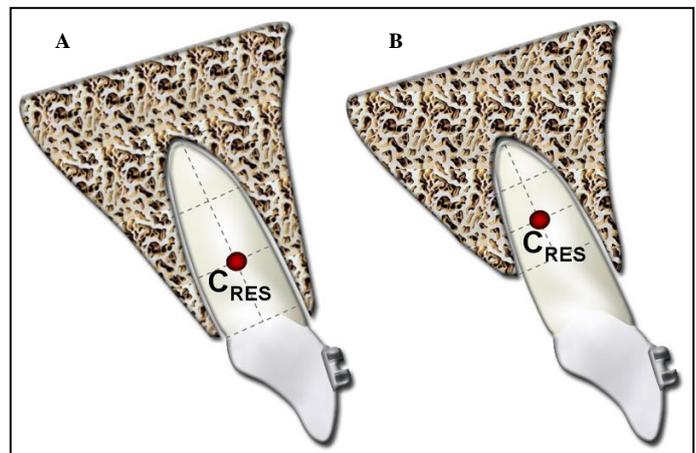


FIGURA 2-4 – Localização do Centro de Resistência (C_{RES}) em dentes com diferentes alturas de osso alveolar. **A** – Rebordo alveolar normal. **B** – Rebordo alveolar com perda óssea.

Desta forma, o movimento dentário em pacientes adultos, com perda óssea deve ser diferenciado.

A noção de que o C_{RES} está localizado em uma posição mais apical nestes casos é de fundamental importância para se planejar corretamente o sistema de forças desejado.^{1;2;6;15;23;24}

- Número de raízes do dente: (Figura 2-5)

O número de raízes é outro fator determinante na posição do C_{RES} . Quanto maior o número de raízes, maior a área total do dente e maior a superfície de contato com o periodonto.

Em dentes multirradiculados o C_{RES} normalmente se localizará entre as raízes, próximo a região de furca.^{1;6;19;29}

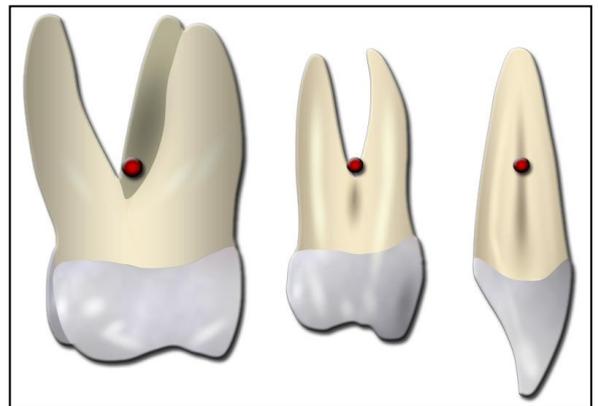


FIGURA 2-5 – Localização do Centro de Resistência em dentes uni; bi e trirradiculares.

- Morfologia radicular: (Figura 2-6)

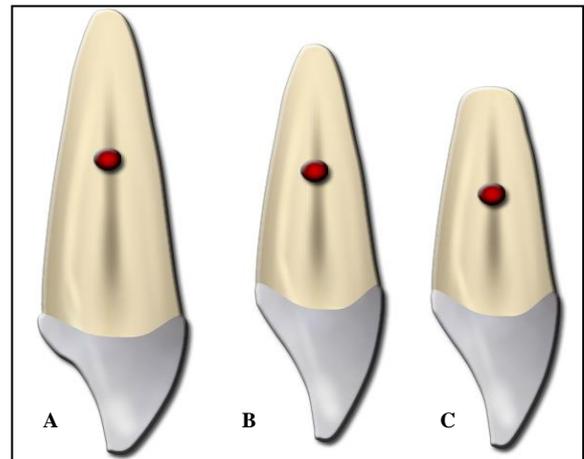
A forma da raiz (mais triangular ou mais romboidal) também interfere na área total do dente, sendo assim outro fator determinante na posição do C_{RES} .¹⁰



FIGURA 2-6 – Dentes com diferentes morfologias e seus respectivos centros de resistência.

- Comprimento radicular: (Figura 2-7)

A posição do C_{RES} está relacionada diretamente com o comprimento radicular. Dentes com raízes maiores, como os caninos e incisivos centrais superiores, possuem o C_{RES} localizados mais distantes da coroa.



Quanto maior o comprimento radicular, mais apical se localizará o C_{RES} .^{6;28;33}

FIGURA 2-7 – Localização do Centro de Resistência em dentes com diferentes comprimentos radiculares. **A** – Canino Superior; **B** – Incisivo Central Superior; **C** – reabsorção radicular.

Quando reabsorções radiculares estão presentes, o C_{RES} se localiza mais coronalmente devido a uma diminuição do comprimento radicular.^{2;3;32}

4. Localização do Centro de Resistência:

Como citado anteriormente, a localização do C_{RES} em dentes está sujeita a variáveis que podem agir isoladas ou simultaneamente umas com as outras. Não obstante, investigações a respeito da localização correta do C_{RES} não são fáceis de serem realizadas e tão pouco precisas. Por estes fatores e diferenças entre

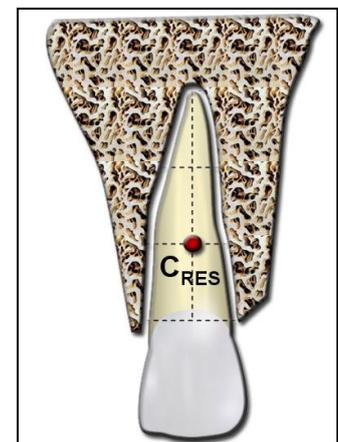


FIGURA 2-8 – Localização do centro de resistência (C_{RES}) em dentes unirradiculados.

metodologias e parâmetros empregados, pode-se encontrar na literatura diferentes posições para o C_{RES} de um dente.^{1-3;6;20-28}

De forma geral, a posição do C_{RES} em dentes unirradiculares, com altura normal do rebordo alveolar, pode ser estimada no longo eixo do dente, próximo a um terço (33%) da distância entre a crista alveolar e o ápice radicular.^{1-3;6;21;27;31} (Figura 2-8)

O C_{RES} em dentes multirradiculados é considerado fora do dente, próximo à região de furca das raízes.^{1;6;29} (figura 2-9)

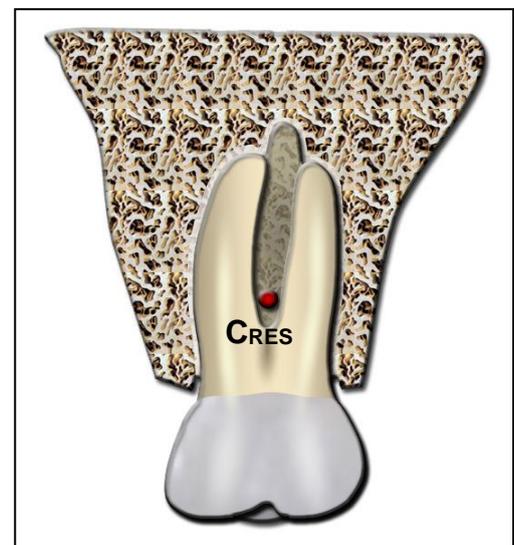


FIGURA 2-9 – Localização do centro de resistência (C_{RES}) em dentes multirradiculados.

5. Localização do Centro de Resistência nos três planos do espaço:

É importante lembrar que a ação de uma força pode movimentar os dentes nos três planos, portanto, a posição do C_{RES} deve ser avaliada tridimensionalmente.

C_{RES} pode ser localizado nos diferentes planos do espaço.^{1;3} (Figura 2-10)

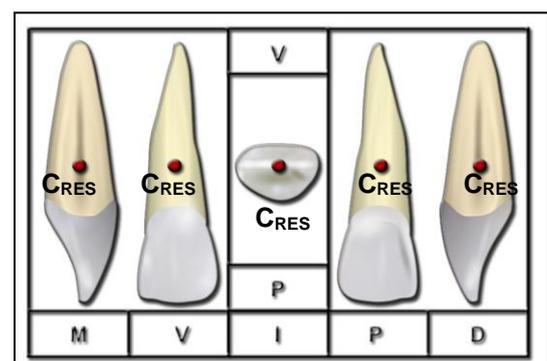


FIGURA 2-10 – Localização do centro de resistência (C_{RES}) em vista mesial (M), vestibular (V), incisal (I), palatina (P) e distal (D).

Tanto em vista frontal quanto em vista sagital os determinantes e a localização do C_{RES} permanecem como citado acima, porém quando observado em vista oclusal (incisal), a morfologia e do número de raízes também são determinantes para a posição do C_{RES} .

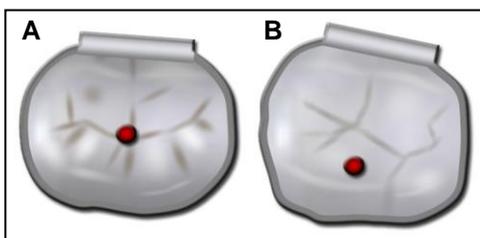


FIGURA 2-11 – Localização do centro de resistência nos molares inferiores (A) e nos molares superiores (B).

Nos molares inferiores, quando observado por oclusal, o C_{RES} está localizado no centro da coroa dentária. Já nos primeiros molares superiores, o C_{RES} está localizado ligeiramente sobre a raiz palatina.¹ (maior volume) (Figura 2-11)

Além destes fatores, (morfologia e do número radicular) deve-se levar em consideração ainda a inclinação dentária. (Figura 2-12)

Na figura 2-12 o mesmo dente é representado com três diferentes inclinações. Quando observado em vista lateral, o C_{RES} se encontra na mesma posição, quando observado em vista incisal a posição do C_{RES} é diferente em cada inclinação.¹

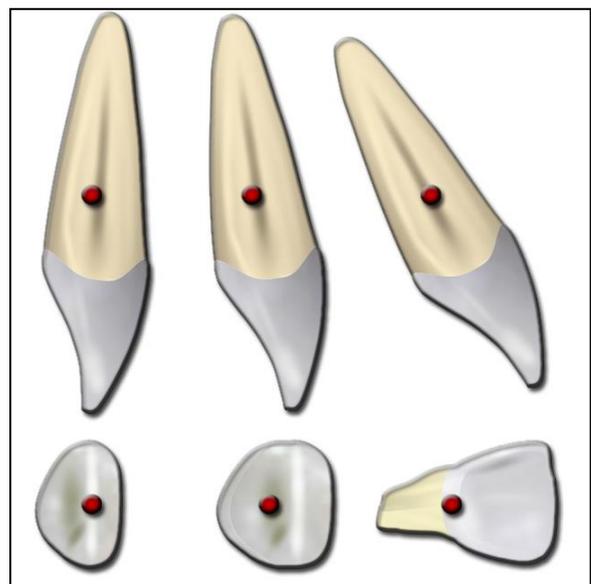


FIGURA 2-12 – Localização do centro de resistência no mesmo dente com inclinações diferentes.

A inclinação dentária possui um fator determinante na posição do C_{RES} quando observado em vista oclusal. Da mesma forma, uma força agindo neste plano terá respostas diferentes de movimentação dentária para cada caso.

Um estudo realizado em dentes com inclinações dentárias diferente verificou diferentes posições para o C_{RES} em cada dente. Os autores concluíram que a posição do C_{RES} está relacionada com a altura do rebordo alveolar palatino.²²

6. Outras Localizações do Centro de Resistência:

É importante ter em mente que ao se unir (conjugar) um dente a outro, ou com um grupo de dentes, seja por um pedaço de fio, resina ou mesmo o próprio aparelho ortodôntico, está se criando outro fator de restrição. Desta forma, a posição do C_{RES} de um único dente é alterada e um novo C_{RES} será criado para aquele grupo de dentes. (que passarão a responder como se fossem um único dente, com um único C_{RES} .)

O C_{RES} dos diferentes dentes, grupos de dentes, arcos dentários e até mesmo, bases ósseas, como a maxila, podem ser estimados e devem ser levados em consideração na hora de se planejar o sistema de força desejado para agir em cada situação.^{1;3;11;19;25;34;35}

Para a intrusão dos dois incisivos centrais superiores conjugados, o C_{RES} localiza-se sobre a sutura palatina mediana, cerca de 6 mm acima dos braquetes,^{34;35} próximo a distal dos caninos. (Figura 2-13)



FIGURA 2-13 – Localização do centro de resistência para intrusão dos dois incisivos centrais superiores.

Para intrusão dos quatro incisivos superiores, o C_{RES} localiza-se sobre a sutura palatina mediana, cerca de 5 mm acima dos braquetes dos incisivos centrais,^{34;35} próximo a região dos caninos³⁴⁻³⁷. (Figura 2-14)

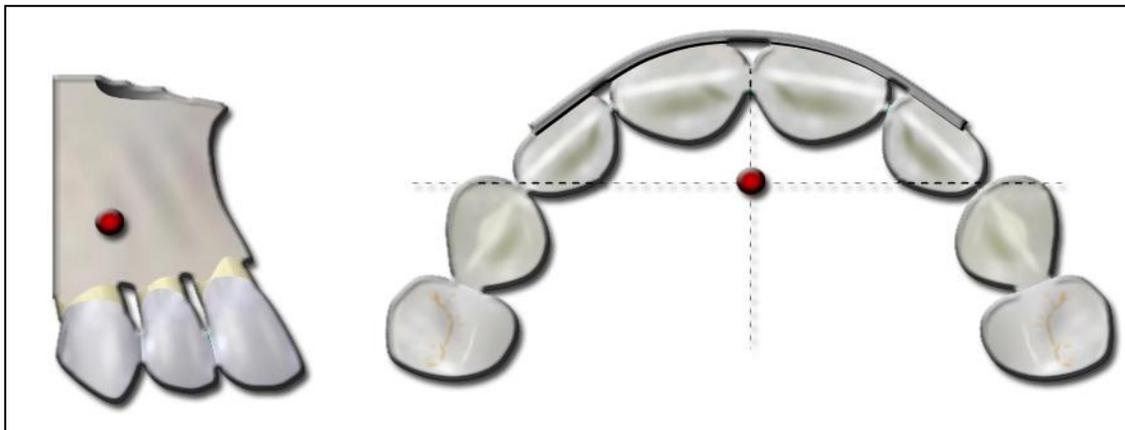


FIGURA 2-14 – Localização do centro de resistência para intrusão dos incisivos superiores.

Para intrusão dos seis dentes anteriores superiores (incisivos centrais, laterais e caninos), o C_{RES} localiza-se sobre a sutura palatina mediana, cerca de 7 mm acima dos braquetes dos incisivos centrais,^{34;35} próximo a distal dos primeiros pré-molares superiores.^{34-37;38} (Figura 2-15)



FIGURA 2-15 – Localização do centro de resistência para intrusão dos dentes ântero-superiores.

Ainda para os seis dentes anteriores superiores (incisivos centrais, laterais e caninos), a posição do C_{RES} pode ser alterada pela forma do arco dentário, estando mais próxima dos incisivos para as formas mais abertas e afastado nos arcos mais atresícos.² (Figura 2-16)



FIGURA 2-16 – Localização do centro de resistência altera com a forma do arco dentário.

Da mesma forma que a inclinação do dente possui um fator determinante na posição do

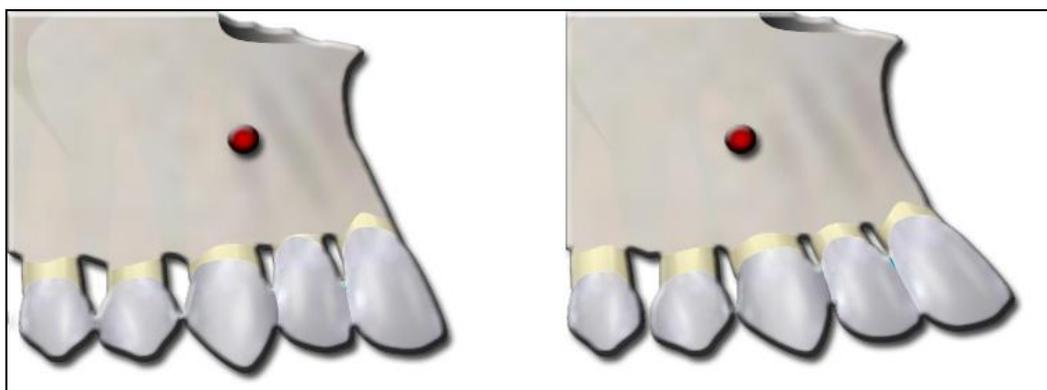


FIGURA 2-17 – Localização do centro de resistência diferentes inclinações de dentes anteriores.

C_{RES} de um único elemento dentário, a inclinação de um grupo de dentes também pode alterar a sua localização. Em dentes anteriores mais vestibularizados, o C_{RES} se localiza mais posteriormente e em dentes anteriores mais verticalizados o C_{RES} se localiza mais anteriormente.² (Figura 2-17)

Ao se conjugar o segmento posterior superior unilateral, (segundo molar, primeiro molar e segundo pré-molar) o C_{RES} se localizará próximo à raiz distal do primeiro molar.^{11;39} (Figura 2-18A)

Quando um fio rígido é inserido nos braquetes e tubos de molar a molar, este arco dentário passa a responder com um corpo único, com o seu C_{RES} localizado apicalmente entre as raízes dos pré-molares.^{11;38;39} (Figura 2-18B)

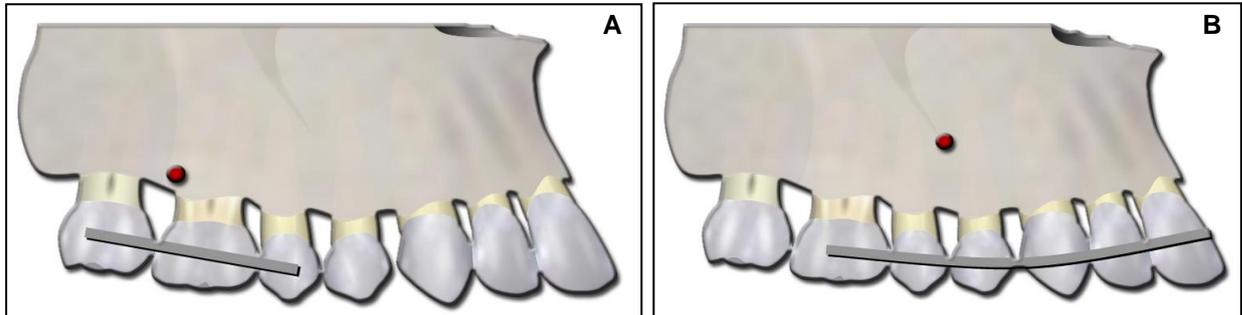


FIGURA 2-18 – Localização do centro de resistência para os dentes posteriores de segundo molar à segundo pré-molar (A) e para todo o arco superior. (B)

A própria maxila possui um C_{RES} , porém, da mesma forma que os dentes unirradiculados, a literatura relata diferentes posições para este C_{RES} .^{1;3;5;15;39-43}



FIGURA 2-19 – C_{RES} da maxila.

De uma forma geral, acredita-se que o C_{RES} da maxila está localizado próximo a posição pósterio-superior do processo zigomático,^{1;3;39;42;43} (Figura 2-19)

Proffit¹⁵ e Nanda⁴⁰ relatam que o C_{RES} da maxila está localizado acima das raízes dos pré-molares e Marcotte⁵ relata que esta posição se dá 6 a 8 mm acima das raízes dos molares superiores. Porém nenhuma das posições acima citadas possui uma comprovação científica referenciada.

A previsão da movimentação dentária em relação às forças ortodônticas só pode ser baseada em uma estimativa da localização do C_{RES} , porém, como visto anteriormente, a precisa localização do centro de resistência pode sofrer alterações devido a vários fatores, tornando assim difícil saber a sua real localização. Conseqüentemente, o sistema de forças empregado para movimentar um dente, (grupo de dentes ou maxilares) deve ser monitorado de acordo com observações clínicas e alterado se necessário.²

Embora não seja possível localizar corretamente a posição do C_{RES} , a noção conceitual da posição deste ponto é de fundamental importância no planejamento do sistema de forças que será empregado para se obter a movimentação desejada.³

A relação entre o sistema de forças atuantes e o C_{RES} determinará o efeito destas forças aplicadas, ou seja, o tipo de movimentação realizada.³

da ação das forças

3

Capítulo III - DA AÇÃO DAS FORÇAS

“Se a dúvida está te desafiando e você não agir, as dúvidas crescerão. Desafie as dúvidas com ação e você crescerá. Dúvida e ação são incompatíveis.”

- John Canary -

1. Efeito das forças:

A força é considerada um agente capaz de movimentar um corpo ou alterar a sua forma. Nos exemplos descritos abaixo, o corpo que está recebendo a ação das forças é considerado um corpo rígido, não alterando assim a sua forma.

Os conceitos abaixo descritos serão abordados em relação a um centro de massa de um corpo rígido. A sua compreensão deve esclarecer estes mesmos conceitos que posteriormente terão a sua aplicação abordada por um ponto de vista ortodôntico. (Capítulo 4)

A relação entre a resultante das forças que atuam em um corpo e o seu centro de massa (C_M) determinará o tipo de movimentação realizada por este.^{1;3;6}

Basicamente, três tipos de movimentos são gerados pela ação de uma força:

- Translação (Movimento de Corpo),
- Rotação,
- Combinação de translação e rotação.

- Translação: (Movimento de corpo)

Quando uma força simples é aplicada através do centro de massa (C_M) de um corpo rígido livre no espaço, todos os pontos deste corpo se movem em linha paralela na mesma quantidade, direção e sentido da linha de ação da força. A este tipo de movimento dá-se o nome de **translação ou movimento de corpo**.^{1;6;9} (Figura.3-1)

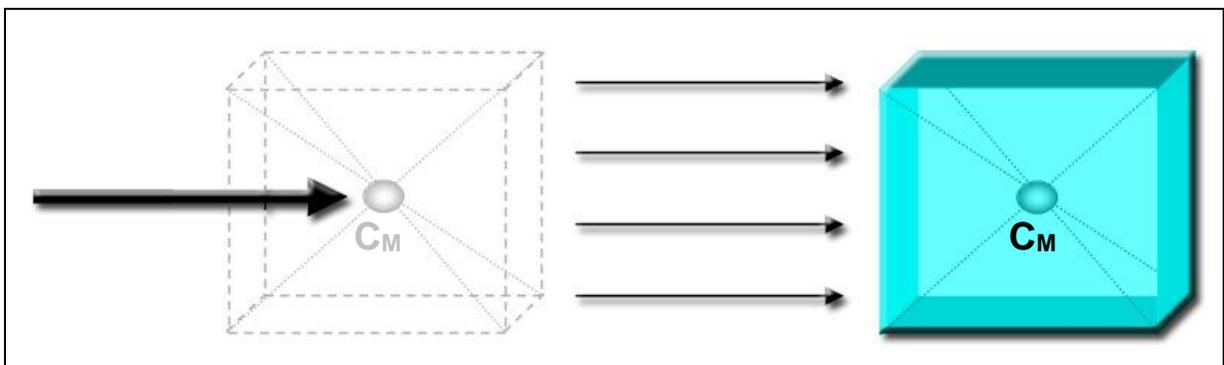


FIGURA 3-1 – Translação ou Movimento de corpo: todos os pontos de um corpo se movem na mesma quantidade e direção.

Quando uma única força passa através do C_M de um corpo o único tipo de movimentação observada será de translação. Todos os outros tipos de movimentação serão realizados por forças agindo em algum lugar tendo sua linha de ação passando fora do C_M .

- Rotação:

Quando a linha de ação de uma força simples, aplicada a um corpo rígido livre no espaço, não passar através de seu centro de massa, os pontos deste corpo não se moverão na mesma quantidade e no mesmo sentido, na verdade, não haverá se quer dois pontos que moverão na mesma quantidade e sentido, ou seja, neste caso, o corpo sofrerá uma **tendência de rotação**.⁹ (Figura.3-2)

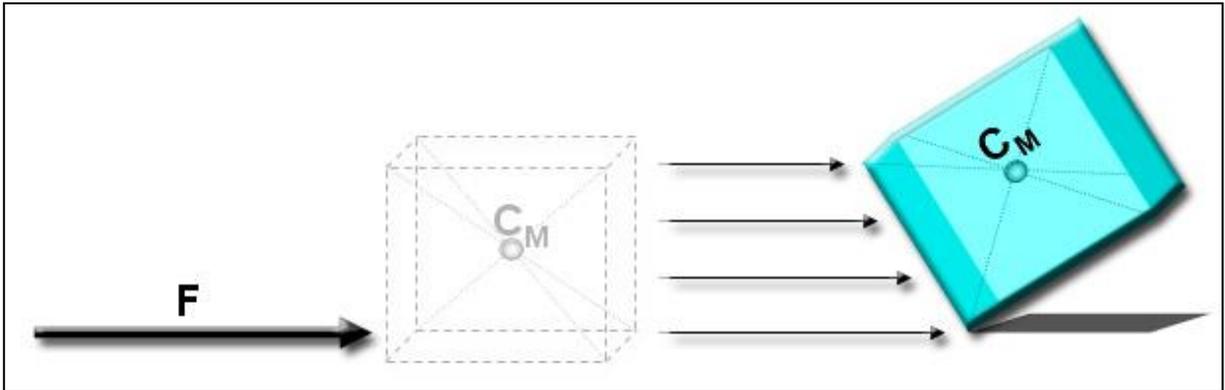


FIGURA 3-2 – Movimento de rotação: não haverá dois pontos do corpo que se moverão na mesma quantidade e direção.

Conhecendo a magnitude da força aplicada e a distância de sua linha de ação perpendicular ao C_M do corpo, pode-se saber prontamente a quantidade da tendência rotacional que este corpo está sofrendo.

A esta tendência rotacional sofrida pelo corpo dá-se o nome de **momento**. (M)

Momento é a tendência apresentada por um corpo de sofrer giro. ^{1;3;5;6;8-15;18;20-22;25-27;30-44}

Quando esta tendência é causada por uma força simples, dá-se o de **momento de uma força**. (M_f) ^{1;3;5;6;8-15}

A magnitude do momento de uma força é calculada pelo produto entre a magnitude da força e a distância perpendicular entre a linha de ação desta força ao centro de massa do corpo. ^{1;3;5;6;8-15;18;20-22;25-27;30-44}

$$M = F \times d$$

Onde: M = Momento
 F = força
 d = distância perpendicular entre a linha de ação da força e o centro de massa de um corpo.

Perceba que alterando a magnitude da força ou alterando a distância perpendicular da linha de ação da força ao centro de massa a magnitude do momento será alterada.

A unidade utilizada para medir força é newton (N). A unidade utilizada para medir comprimento é o metro (m), desta forma, a unidade de momento no Sistema Internacional de Unidades (SI) é newton x metro. (N.m)¹⁴

Assim como a força, o momento também é uma grandeza vetorial, possuindo magnitude e sentido.¹⁴

As forças são representadas por setas retas, os momentos são representados por setas curvas. (Figura 3-3)

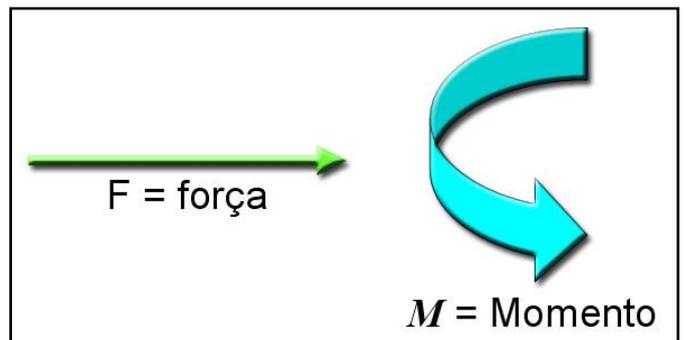


FIGURA 3-3 – Representação gráfica de Força e Momento

Momentos de maior magnitude terão sua representação gráfica com maior raio.⁴⁴

O sentido do momento pode ser determinado ao dar-se continuidade à linha de ação da força ao redor do centro de massa do corpo. (Figura 3-4)

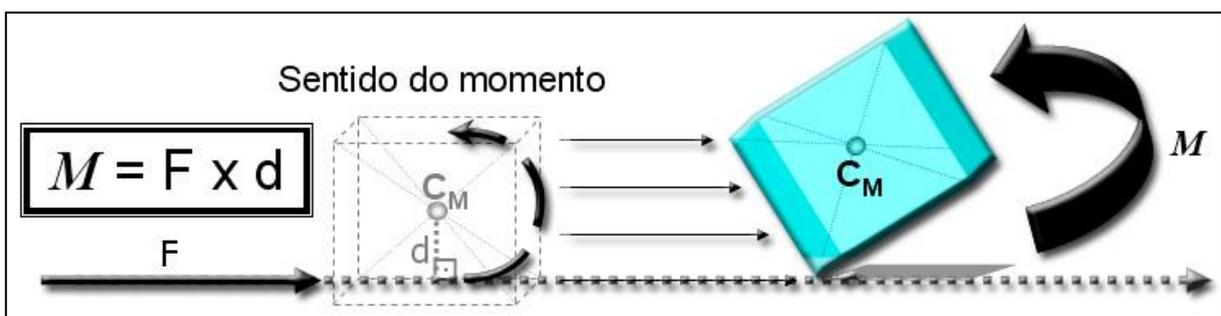


FIGURA 3-4 – Representação gráfica do Momento de uma Força. O Sentido do momento pode ser determinado por uma prolongação do vetor da força ao redor do C_M .

Por convenção, os momentos podem ser positivos ou negativos.^{6;14} Em física, os momentos que tendem a girar o corpo no sentido anti-horário levam sinais positivos e aqueles que tendem a girar o corpo no sentido horário, sinais negativos.

A adição ou subtração dos momentos atuantes em um mesmo corpo pode ser realizada de forma algébrica.

Na realidade, a ação de uma força simples como descrita anteriormente para rotação, não é capaz de produzir um movimento de rotação pura, e sim uma combinação de dois tipos de movimentos: translação + rotação.^{6;9}

Um movimento de rotação pura só pode ser gerado pela ação de duas ou mais forças, como será descrito posteriormente nos casos de binários de forças.

- Combinação de Translação e Rotação:

O movimento gerado pela ação de uma força simples que age fora do centro de massa de um corpo é na realidade uma combinação dos movimentos de translação e rotação ocorrendo ao mesmo tempo.

O centro de massa do corpo irá sofrer rotação, porém também irá movimentar de corpo. Em outras palavras, o corpo sofrerá rotação ao redor de seu centro de massa e ao mesmo tempo, este centro de massa estará transladando no sentido de ação da força. (Figura 3-5)

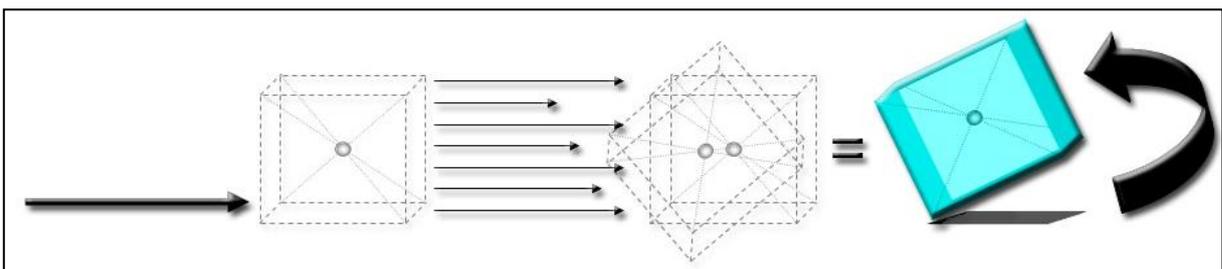


FIGURA 3-5 – Movimento combinado de rotação e translação: Centro de massa translada e gira ao mesmo tempo.

2 . Binários: (Rotação pura)

Como visto anteriormente, a ação de uma força simples não é capaz de produzir um movimento de rotação pura. Porém ao sofrer a ação de duas ou mais forças um corpo pode movimentar-se de forma a rotacionar ao redor de seu próprio eixo, ou seja, ao redor do centro de massa, sofrendo assim uma rotação pura.

Nos casos onde esta rotação pura ocorre como resultado da ação de duas forças iguais e opostas, dá-se o nome de binário. Por definição, um **binário** consiste da ação de duas forças paralelas, não coincidentes, de mesma magnitude, mesma direção e sentidos opostos.^{1-6;8-15;18;20} (Figura 3-6)

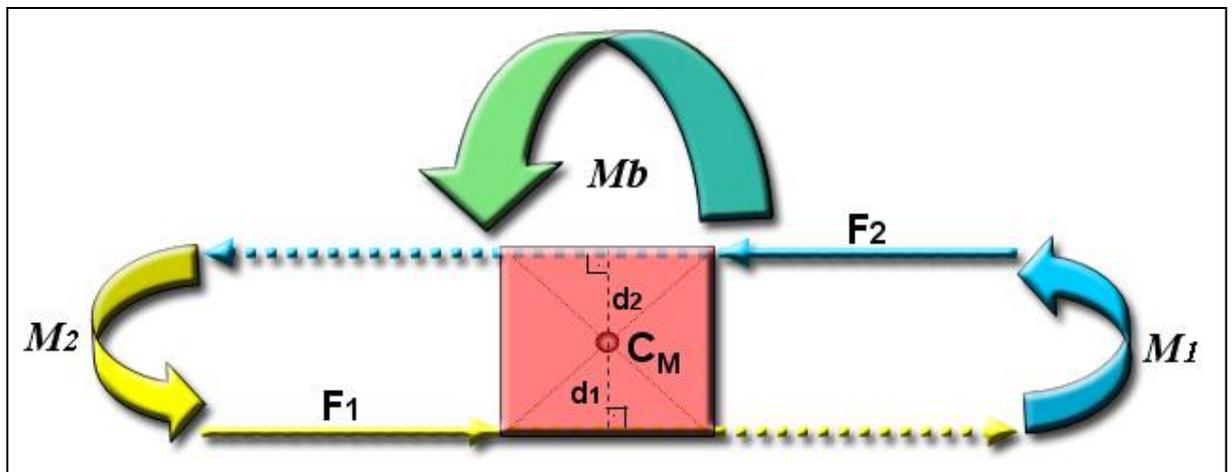


FIGURA 3-6 – Binário: Duas forças paralelas, não coincidentes, de mesma magnitude, mesma direção e sentidos opostos.

Como as forças que constituem o binário não passam pelo centro de massa, cada uma delas causa uma tendência de giro neste corpo, ou seja, criam um momento.

Estas duas forças possuem magnitudes iguais e sentidos opostos, assim, os momentos gerados terão magnitudes iguais, porém o sentido será o mesmo. (horário ou anti-horário)

O resultado expresso pelo corpo será de rotação pura sem sair de sua posição inicial.

A resultante do binário é nula, pois as forças que o constituem possuem a mesma magnitude, mesma direção e sentidos opostos.^{8;12;14}

Desta forma, o binário é classificado como um sistema especial, onde o resultado de sua ação produzirá apenas rotação. Este efeito é chamado de **rotação pura**.

À tendência rotacional causada pela ação de um binário, dá-se o nome de **Momento de um binário**. (Mb)^{1-6;8-11;13;17;18;20}

O momento de um binário pode ser calculado de três formas:

1 – Pela soma algébrica dos momentos gerados pelas forças que o constituem.

Na figura 3-6 o momento do binário (Mb) será a somatório de $M_1 + M_2$.

Sendo $M_1 = F_1 \times d_1$ e $M_2 = F_2 \times d_2$.

2 – Multiplicando-se uma das forças (ambas possuem magnitudes iguais) pela distância perpendicular entre as duas forças paralelas.

$$\boxed{Mb = F \times (d_1 + d_2)}$$

3 – Multiplicando-se a soma das magnitudes das forças pela metade da distância entre elas.¹⁰

Perceba que alterando a magnitude das forças ou alterando a distância perpendicular entre elas, a magnitude do momento será alterada.

Outra característica especial em relação a um binário de forças é a irrelevância da posição de onde este binário é aplicado em um corpo.

Diferente do momento de uma força, onde a distância entre a linha de ação da força em relação ao centro de massa do corpo possui importância fundamental na magnitude do momento gerado, em um momento de um binário, os locais onde as forças são aplicadas no corpo não possuem papel algum na magnitude do momento gerado.

O momento de um binário será sempre igual ao produto da magnitude de um das forças pela distância entre elas.

Devido à irrelevância da posição de onde as forças são aplicadas em um corpo, o binário também é denominado de “vetor livre”.⁶

A figura 3-7 exemplifica bem isso. (adaptado de Smith e Burstone – 1984)⁶

Um corpo de massa qualquer sofre a ação de um par de forças paralelas não coincidentes, de igual magnitude (10g), agindo na mesma direção e em sentidos opostos. Por definição, um binário.

Na figura 3-7A, as duas forças agem equidistantes do centro de massa do corpo (5mm), gerando cada uma, um momento de 50 g.mm no sentido anti-horário. Somando os dois momentos, o corpo sofrerá a ação de um momento gerado pelo binário de 100 g.mm.

Na figura 3-7B, o mesmo binário de forças age sobre o corpo, porém, desta vez, ambos estão do mesmo lado do corpo, possuindo assim distâncias distintas entre a linha de ação das forças e o centro de massa do corpo.

Forças iguais, porém distâncias diferentes produzirão momentos também diferentes.

Como as duas forças estão agindo do mesmo lado do corpo, ambas produzirão momentos em sentidos opostos.

Momentos opostos agindo no mesmo corpo se subtrairão.

O momento final agindo no corpo será o mesmo da figura 3-7A. Nas duas situações, as forças formaram um binário, e como dito anteriormente, independente de onde o binário agirá no corpo, a movimentação deste corpo será sempre de rotação pura. Binários gerados por forças iguais com a mesma distância entre as forças gerarão sempre momentos iguais.

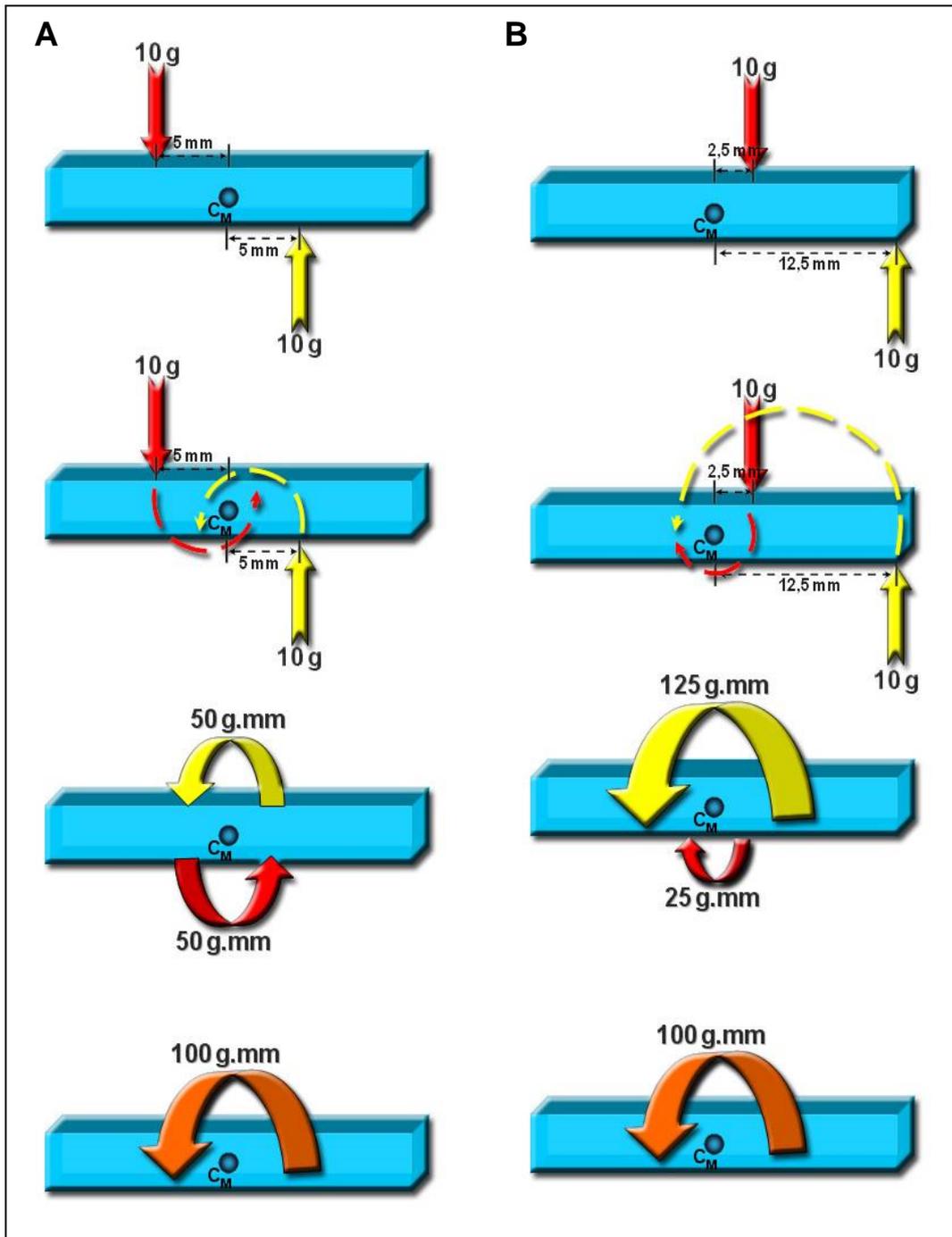


FIGURA 3-7 – Exemplos de binários agindo em diferentes posições: Em A, forças agindo em diferentes lados; em B agindo do mesmo lado (adaptado de Smith e Burstone – 1984).⁶

3. O Centro de Rotação:

Um método frequentemente utilizado para descrever os diferentes tipos movimentações (translação, rotação pura ou uma combinação entre eles) é em relação ao centro de rotação.

Centro de Rotação (CROT) é o ponto ao redor do qual um corpo gira para se movimentar.^{1-6;8-11;13;17;18;20}

O centro de rotação pode se localizar em diferentes posições dentro ou fora do corpo, sendo a sua posição dentro do próprio corpo a exceção mais do que a regra.¹

A localização do centro de rotação em movimentos gerados pela ação de uma força simples, depende da distância entre a linha de ação da força e o centro de resistência.

- Movimento de translação = CROT no infinito.

Quando a linha de ação da força passa sobre o centro de massa de um corpo, este sofre um movimento de translação. O corpo move de um ponto a outro sem sofrer rotação. Nestes casos, diz-se que o centro de rotação está localizado no infinito. (Figura 3-8)

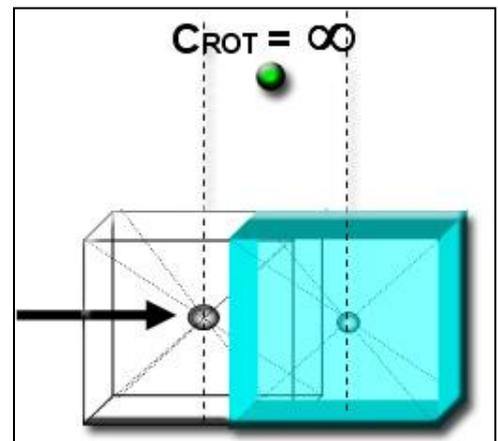


FIGURA 3-8 – Movimento de translação: Centro de rotação (CROT) no infinito.

Os prolongamentos do longo eixo do corpo em sua posição inicial e em sua posição final formarão duas linhas paralelas, (assim, como duas retas paralelas se encontram no infinito, diz-se que o centro de rotação em um movimento de translação também está localizado no infinito).

- Movimento de rotação = CROT coincidente com o C_M.

Quando um binário é aplicado em um corpo, este sofre um movimento de rotação pura. O corpo gira sobre seu próprio eixo. Nestes casos, diz-se que o centro de rotação está localizado sobre o centro de massa. (Figura 3-9)

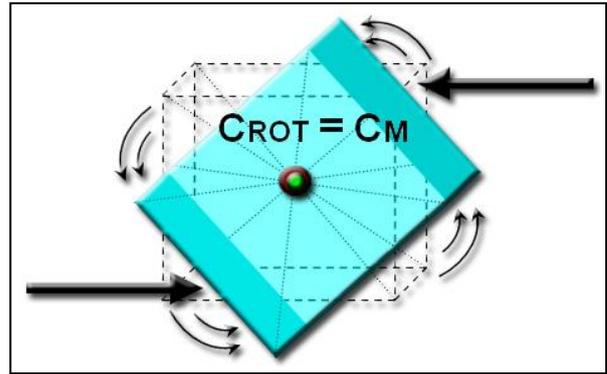


FIGURA 3-9 – Movimento de rotação pura: Centro de rotação (C_{ROT}) coincide com o centro de massa (C_M).

Nos casos de rotação pura não ocorre movimentação do C_M .

- Combinação dos movimentos de Translação e Rotação = C_{ROT} mutável.

Quando a linha de ação de uma força simples passa fora do centro de resistência de um corpo, este sofre uma combinação dos movimentos de translação e rotação. (Figura 3-10)

Nestes casos o C_{ROT} pode se localizar dentro ou fora do corpo, podendo se aproximar do C_M , mas nunca serão coincidentes.^{6;9}

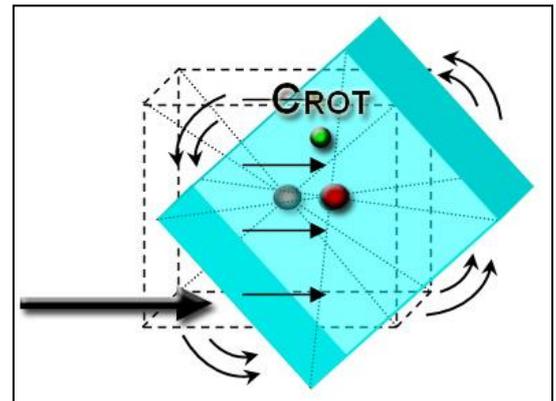


FIGURA 3-10 – Combinação dos movimentos de translação e rotação: Centro de rotação (C_{ROT}) em algum lugar dentro ou fora do corpo.

Quanto mais próximo a linha de ação da força passar do C_M , mais translacional será o movimento, e mais distante do corpo se localizará o C_{ROT} .⁶

4. Construção do Centro de Rotação:

Existe uma maneira correta de se determinar a posição do centro de rotação para qualquer movimentação de um corpo entre duas posições (inicial e final).

Primeiro, escolhe-se dois pontos qualquer no corpo que será analisado. (Figura 3-11A)

Traça-se uma linha ligando a posição inicial e final de cada um destes pontos. (Figura 3-11B)

Determina-se o ponto médio de cada uma destas linhas. (Figura 3-11C)

A partir destes pontos, traça-se uma linha perpendicular às linhas traçadas no segundo passo. (Figura 3-11D)

A intersecção destas duas linhas determinará o centro de rotação. (Figura 3-11E)

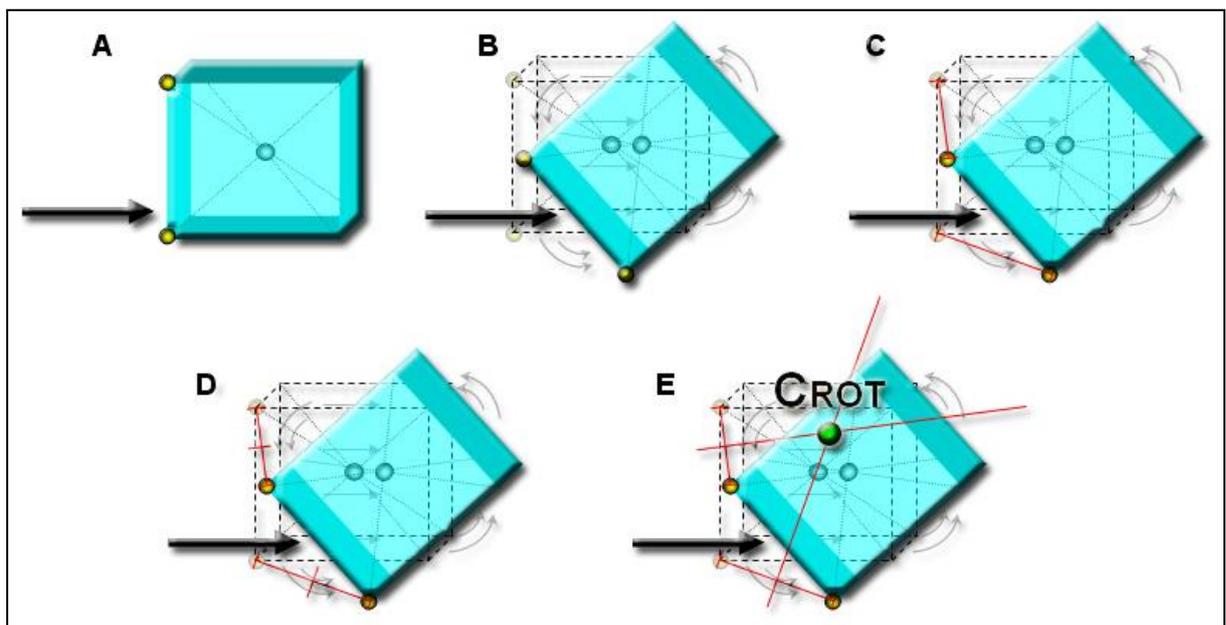


FIGURA 3-11 – Construção do centro de rotação (C_{ROT}). (ver texto)

O centro de rotação descreve um dos possíveis caminhos que o corpo seguiu para sair de sua posição original até a sua posição final.¹

da ação das forças na biomecânica

4

Capítulo IV – DA AÇÃO DAS FORÇAS NA BIOMECÂNICA

“Pense como um homem de ação, atue como um homem de pensamento.”

- Henri Bérghson -

1. Efeito das forças em ortodontia:

Este capítulo enfocará a relação entre forças e os movimentos dentários.

Em ortodontia, a força é considerada um agente capaz de movimentar um corpo (dentes, grupos de dentes ou bases ósseas), e não deformá-lo.

Em ortodontia, as forças são aplicadas para obter o deslocamento necessário, seja ele dentário ou ortopédico. A reação dos tecidos que acarreta o movimento ortodôntico é um resultado de uma interação entre as forças ortodônticas e o meio bucal nos quais estas forças estão agindo.¹

Para definir completamente mudanças na posição dos dentes, é necessário analisar a movimentação de forma tridimensional, contudo, para simplificar a compreensão, a discussão seguinte irá considerar as representações bidimensionais do dente e de tal modo que somente um plano do espaço será descrito.⁴⁵

Em ortodontia, as forças podem ser aplicadas de formas diferentes para se obter a movimentação necessária para correção de uma determinada maloclusão.

A relação entre a resultante das forças que atuam em um dente (grupo de dentes ou base óssea) e o seu centro de resistência (C_{RES}) determinará o tipo de movimentação realizada por este, da mesma forma como abordado no capítulo anterior em relação ao centro de massa de um corpo.^{1;3;6}

De uma forma geral, três tipos de movimentos dentários podem ser gerados pela ação das forças: (Figura.4-1)

- Translação (Movimento de Corpo),
- Rotação,
- Combinação de translação e rotação.

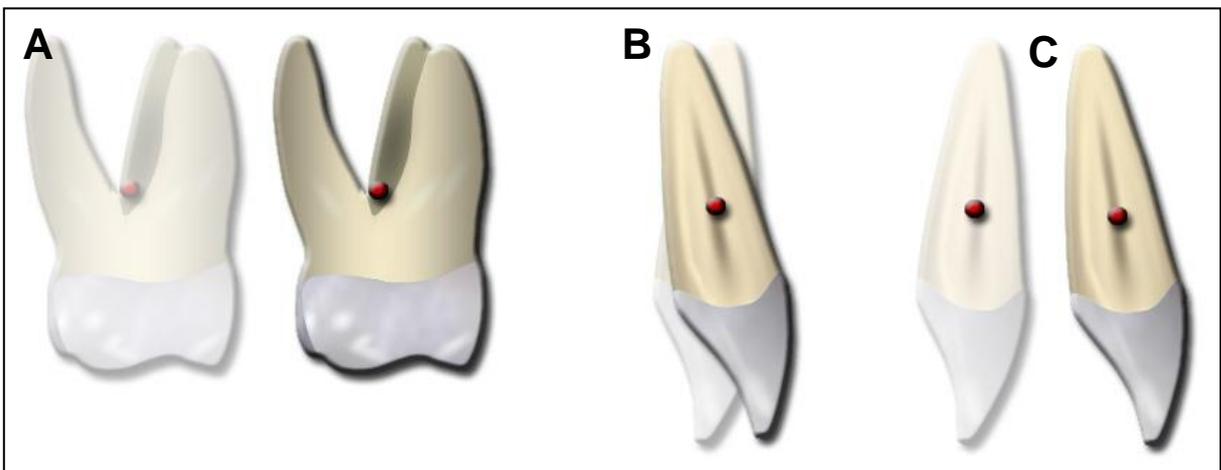


FIGURA 4-1 – Tipos de movimentação de dentária: (A) Translação; (B) Rotação e (C) combinação de translação e rotação.

- Translação: (Movimento de corpo)

Quando uma força simples for aplicada através do centro de resistência (C_{RES}) de um dente, todos os pontos deste se moverão em linha paralela na mesma quantidade, direção e sentido da linha de ação da força. A este tipo de movimento dá-se o nome de **translação ou movimento de corpo**.^{1;6;9} (Figura.4-2)

Translação é definida como um movimento de corpo, onde todos os pontos do dente são movidos na mesma direção, na mesma quantidade e ao longo de linhas paralelas. (Isto ocorre pois a força é distribuída de forma homogênea no lado de tensão.) (Figura.4-3)

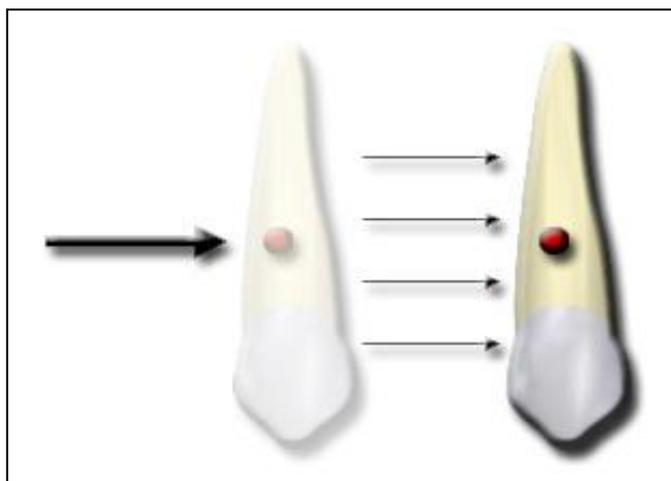


FIGURA 4-2 – Translação ou Movimento de corpo: todos os pontos do dente se movem na mesma quantidade e direção.

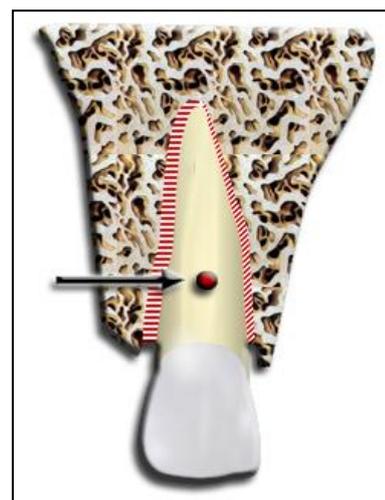


FIGURA 4-3 – Movimento de corpo: fibras periodontais distendidas de forma homogênea.

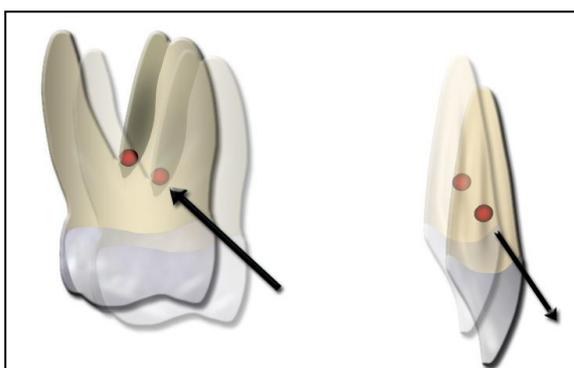


FIGURA 4-4 – Translação ou Movimento de corpo.

De modo geral, as forças ortodônticas são aplicadas, mais comumente, à coroa dos dentes. Deste modo, poucas são as situações onde a linha de ação da força passará precisamente sobre o C_{RES} de um dente. (Figura.4-4)

Alguns dispositivos podem ser empregados para direcionar melhor a linha de ação da força. É o caso dos braços de força (“power arm”) e do arco extrabucal.

Na figura 4-5, note que o ponto de aplicação da força não afeta a sua linha de ação. A força é aplicada ao dente através de um braço de força (Power arm), que por sua vez está colado à coroa do dente, porém a linha de ação da força passa através do C_{RES} do dente.⁶

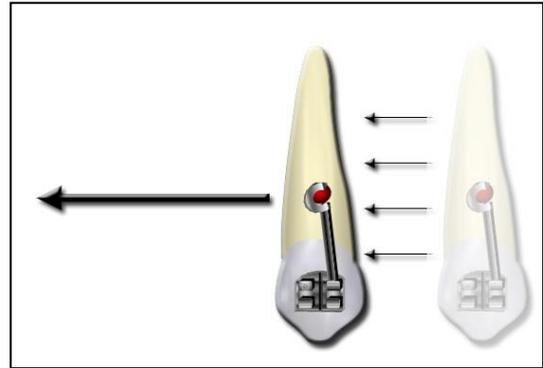


FIGURA 4-5 – Translação: linha de ação da força direcionada pelo braço de força (“Power arm”).

É possível ainda, direcionar o braço externo de um arco extrabucal de forma que sua linha de ação passe sobre o C_{RES} do primeiro molar superior, ou mesmo sobre o C_{RES} da maxila, contrapondo o vetor de deslocamento natural da maxila (para baixo e para frente). (Figura.4-6 e 4-7 respectivamente)

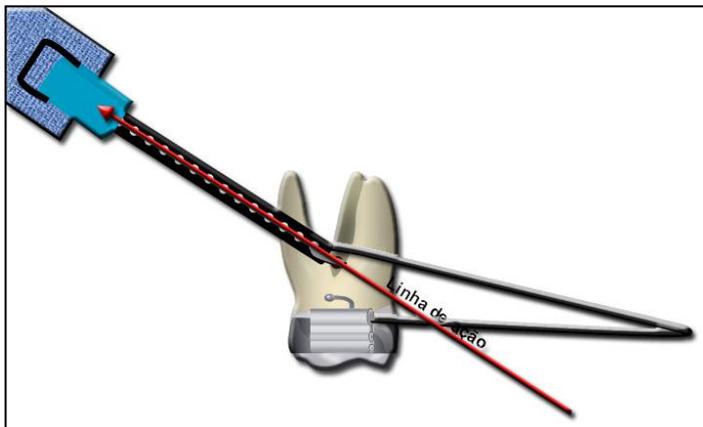


FIGURA 4-6 – Translação: linha de ação da força passando sobre o C_{RES} do molar, direcionada pelo braço externo de um arco extrabucal.

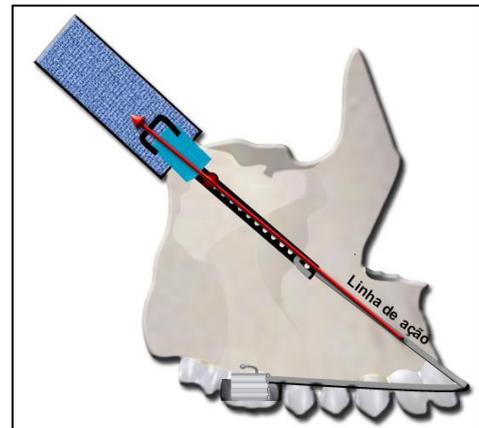


FIGURA 4-7 – Translação: linha de ação da força direcionada pelo braço externo de um arco extrabucal sobre o C_{RES} da maxila.

Rotação:

Quando a linha de ação de uma força simples, aplicada a um dente (grupo de dentes ou bases ósseas), não passar através de seu C_{RES} , os pontos deste não moverão na mesma quantidade e sentido.

Não haverá se quer dois pontos do dente (grupo de dentes ou base óssea) que se moverão na mesma quantidade e sentido, assim como ocorre em corpos livres.

Nestes casos, (dentes, grupos de dentes ou bases ósseas) também sofrerão uma **tendência de rotação**.⁹ (Figura.4-8)

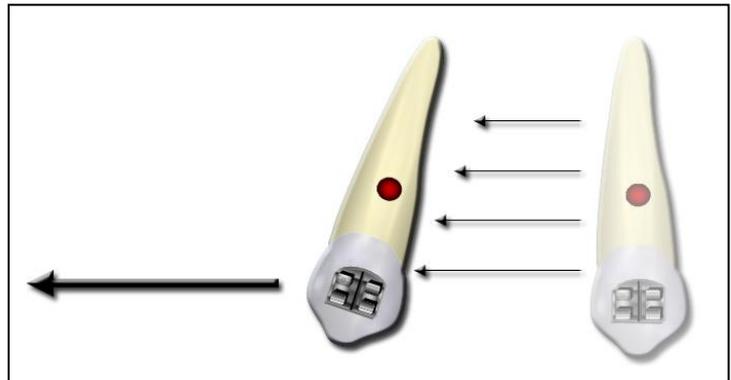


FIGURA 4-8 – Movimento de rotação: não haverá dois pontos do corpo que se moverão na mesma quantidade e direção.

A tendência rotacional sofrida pelo dente é denominada de **momento**. (M)

Momento é a tendência apresentada por um corpo de sofrer giro.^{1;3;5;6;8-15;18;20-22;25-}

27;30-44

Quando esta tendência é causada por uma força simples, dá-se o de **momento de uma força**. (M_f)^{1;3;5;6;8-15}

Conhecendo a magnitude da força aplicada e a distância de sua linha de ação perpendicular ao C_{RES} do dente, pode-se determinar prontamente a quantidade da tendência rotacional que este dente (grupos de dentes ou bases ósseas) sofrerá.

A magnitude do momento de uma força é calculada pelo produto entre a magnitude da força e a distância perpendicular entre a linha de ação desta força ao centro de resistência do dente.^{1;3;5;6;8-15;18;20-22;25-27;30-44}

$$M = F \times d$$

Onde: M = Momento

F = força

d = distância perpendicular entre a linha de ação da força e o centro de massa de um corpo. (Figura.4-9)

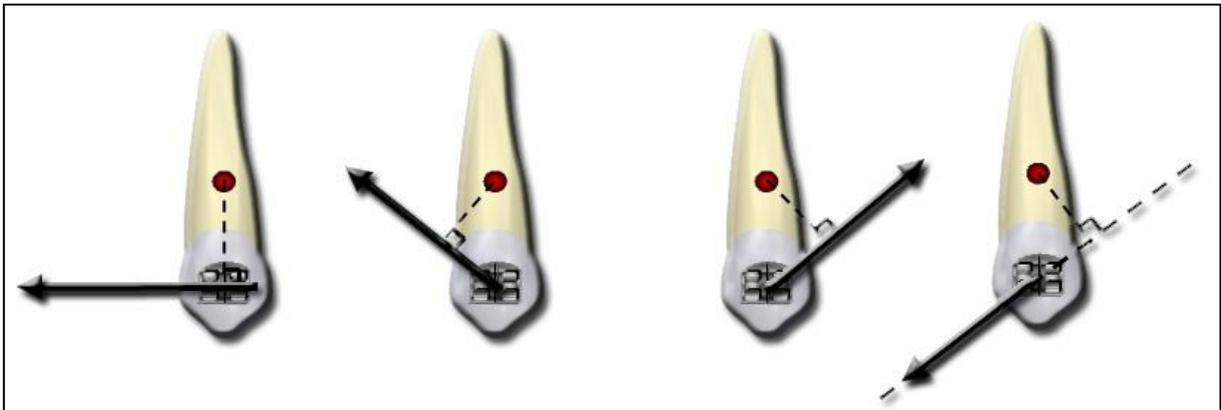


FIGURA 4-9 – Momento de uma força: Magnitude da força multiplicada pela distância perpendicular da linha de ação da força até o C_{RES} do dente (adaptado de Smith e Burstone – 1984).⁶

Alterando a magnitude da força ou a distância perpendicular da linha de ação da força ao centro de massa a magnitude do momento será alterada.

Nos casos de movimentação dentária, a unidade utilizada para medir força é grama (g) e a unidade utilizada para medir comprimento é milímetro (mm), desta forma, a unidade de momento utilizada será grama x milímetro (g.mm).¹⁴

Observe que não é grama por milímetro (g/mm) e sim grama-milímetro ou milímetro-grama.

O sentido do momento pode ser determinado ao dar-se continuidade à linha de ação da força ao redor do centro resistência do dente. (Figura.4-10)

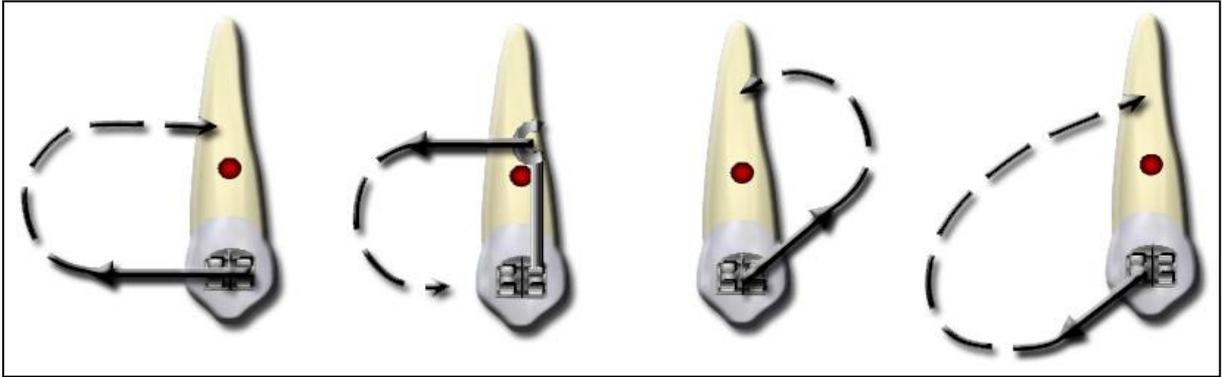


FIGURA 4-10 – Representação gráfica do Momento de uma Força. O Sentido do momento pode ser determinado por uma prolongação do vetor da força ao redor do C_{RES} .

Por convenção, os momentos podem ser positivos ou negativos.^{6;14} Burstone^{45;46} sugere que os momentos que tendem a girar a coroa dentária para a mesial ou para vestibular levem sinais positivos e aqueles que tendem a girar o a coroa para a distal ou para a lingual, sinais negativos.

A adição ou subtração dos momentos atuantes em um mesmo dente pode ser realizada de forma algébrica.

Como visto anteriormente para corpos rígidos livres no espaço, a ação de uma força simples semelhante à descrita para rotação, não é capaz de produzir um movimento de rotação pura, e sim uma combinação de dois tipos de movimentos: translação + rotação.^{6;9}

Um movimento de rotação pura só pode ser gerado pela ação de duas ou mais forças, como descrito nos casos de binários de forças, que também podem ser empregados aos dentes.

A importância do momento de uma força é freqüentemente ignorada na clínica ortodôntica, embora seja fundamental a consciência acerca dessa relevância para o desenvolvimento de configurações de aparelhos efetivos e eficientes⁹

- Combinação de Translação e Rotação:

O movimento gerado pela ação de uma força simples que age fora do centro de resistência de um dente é na realidade uma combinação dos movimentos de translação e rotação ocorrendo ao mesmo tempo.^{1;2;6;9}

O centro de resistência do dente irá sofrer rotação e também irá movimentar de corpo. Em outras palavras, o dente sofrerá rotação ao redor de seu centro de resistência e este centro de resistência estará transladando no sentido da força. (Figura 4-11)

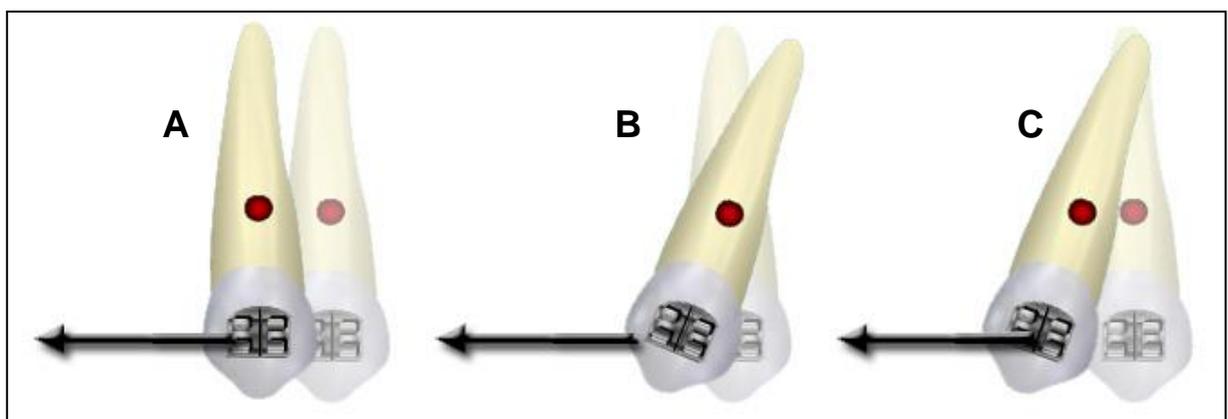


FIGURA 4-11 – Movimento combinado de rotação e translação: Em A translação, em B rotação pura e em C a combinação dos movimentos. O Centro de resistência translada (A) e gira (B) simultaneamente.

Uma força simples atuando em um dente poderá gerar translação, porém, na grande maioria das vezes, o dente sofrerá uma combinação de translação e rotação.

2 . Binários: (Rotação pura)

Como visto anteriormente, a ação de uma força simples não é capaz de produzir um movimento de rotação pura. Porém ao sofrer a ação de duas ou mais forças um dente pode rotacionar ao redor de seu centro de resistência, sofrendo assim uma rotação pura.

Nos casos onde esta rotação pura ocorre como resultado da ação de duas forças iguais e opostas, dá-se o nome de binário, da mesma forma como visto anteriormente para corpos rígidos livres no espaço.

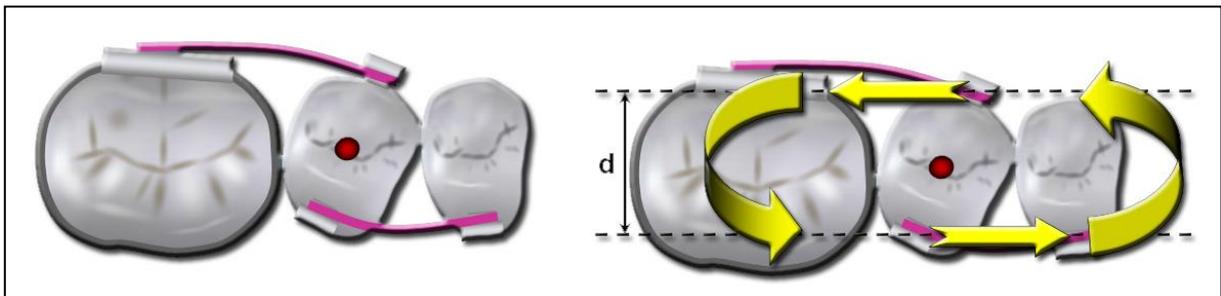


FIGURA 4-12 – Binário: Duas forças paralelas, não coincidentes, de mesma magnitude, mesma direção e sentidos opostos. (adaptado de Cotrin-Ferreira 2002)⁴⁴

Por definição, um **binário** consiste da ação de duas forças paralelas, não coincidentes, de mesma magnitude, mesma direção e sentidos opostos.^{1-6;8-15;18;20} (Figura 4-12)

Como as forças que constituem o binário não passam pelo centro de resistência, cada uma delas causa uma tendência de giro no dente, criando assim dois momentos isolados.

Estas duas forças possuem magnitudes iguais e sentidos opostos, os momentos gerados terão então magnitudes iguais, porém o sentido será o mesmo. (horário ou anti-horário)

O resultado expresso pelo corpo será de rotação pura sem sair de sua posição inicial.

A resultante do binário é nula, pois as forças que o constituem possuem a mesma magnitude, mesma direção e sentidos opostos.^{8;12;14}

Desta forma, o binário é classificado como um sistema especial, onde o resultado de sua ação produzirá apenas rotação. Este efeito é chamado de **rotação pura**.

À tendência rotacional causada pela ação de um binário, dá-se o nome de **Momento de um binário**. (Mb)^{1-6;8-11;13;17;18;20}

O momento de um binário pode ser calculado de três formas: (Figura 4-13)

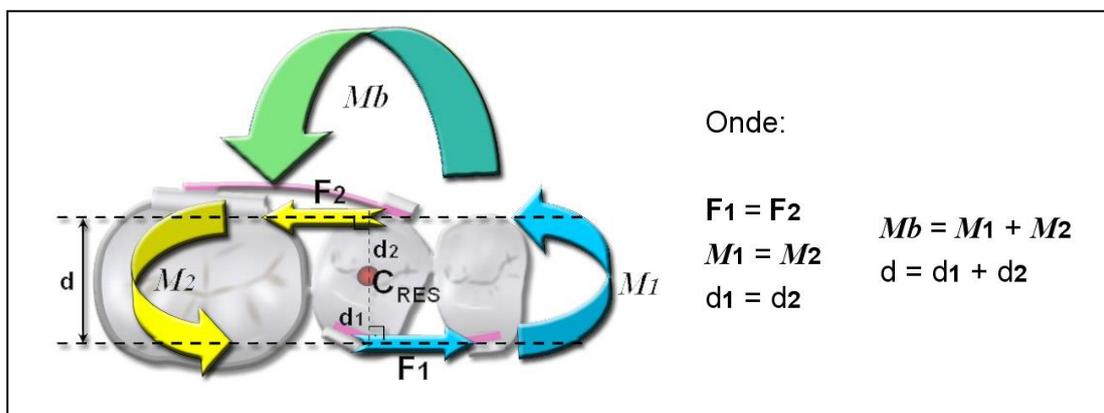


FIGURA 4-13 – Binário: Cálculo de um binário de forças.

1 – Pela soma algébrica dos momentos gerados pelas forças que o constituem.

Na figura 4-13 o momento do binário (Mb) será a somatório de $M_1 + M_2$.

Sendo $M_1 = F_1 \times d_1$ e

$M_2 = F_2 \times d_2$.

2 – Multiplicando-se uma das forças (as duas possuem magnitudes iguais) pela distância perpendicular entre as forças paralelas.⁴⁷

$$Mb = F \times (d_1 + d_2)$$

3 – Multiplicando-se a soma das magnitudes das forças pela metade da distância entre elas.¹⁰

Independente das distâncias (d_1 e d_2) serem iguais, (eqüidistantes do C_{RES}) ou não.¹⁷

Alterando a magnitude das forças ou alterando a distância perpendicular entre elas, a magnitude do momento será alterada.

Outra característica especial em relação a um binário de forças é a irrelevância da posição de onde este binário é aplicado em um corpo.

Diferente do momento de uma força, onde a distância entre a linha de ação da força em relação ao centro de resistência do dente possui importância fundamental na magnitude do momento gerado, em um momento de um binário, os locais onde as forças são aplicadas no corpo não possuem papel algum na magnitude do momento gerado.^{1-3;8-11;17-19;47} (Figura 4-14)

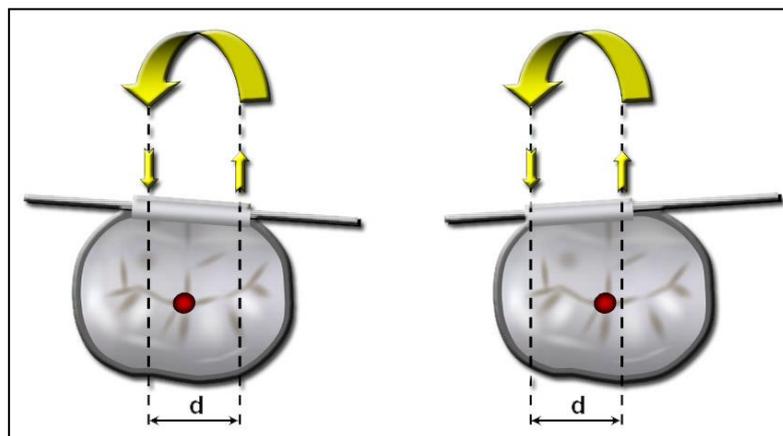


FIGURA 4-14 – Binários aplicados em diferentes posições, gerando momentos de magnitudes iguais.

O momento de um binário será sempre igual ao produto da magnitude de um das forças pela distância entre elas. (Para maior esclarecimento, verificar figura 3-7 do capítulo 3.)

Devido à irrelevância da posição de onde as forças são aplicadas em um corpo, o binário também é denominado de “vetor livre”.⁶

3. O Centro de Rotação:

Um método freqüentemente utilizado para descrever os diferentes tipos movimentações (translação, rotação pura ou uma combinação entre eles) é em relação ao centro de rotação.

Centro de Rotação (CROT) é o ponto ao redor do qual um corpo gira para se movimentar.^{1-6;8-11;13;17;18;20}

O centro de rotação pode se localizar em diferentes posições dentro ou fora do corpo, sendo a sua posição dentro do próprio corpo a exceção mais do que a regra.¹ (Figura 4-15)

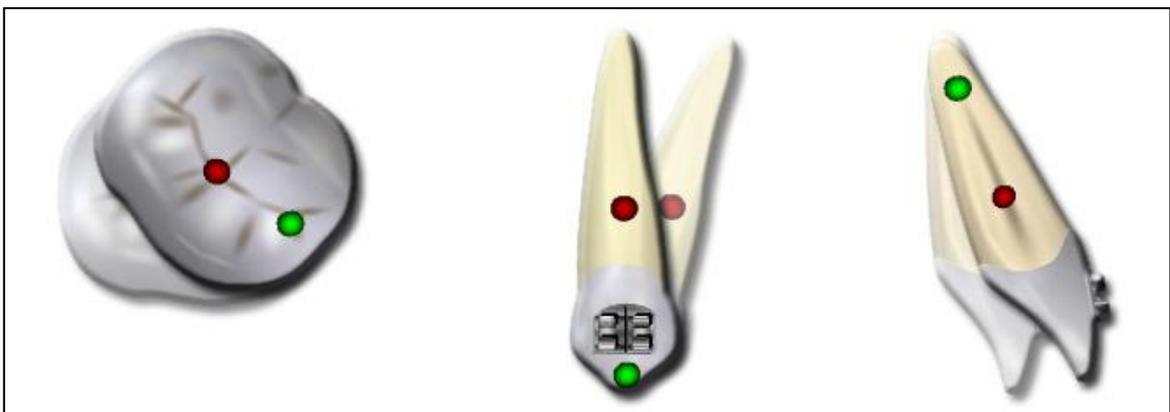


FIGURA 4-15 – Exemplos de diferentes CROT (em verde). (adaptado de Smith e Burstone 1984)⁶

A localização do centro de rotação em movimentos gerados pela ação de uma força simples, depende da distância entre a linha de ação da força e o centro de resistência.

- Movimento de translação = C_{ROT} no infinito.

Quando a linha de ação da força passa sobre o centro de resistência de um dente, este sofre um movimento de translação.

O dente move de um ponto a outro sem sofrer rotação. Nestes casos, diz-se que o centro de rotação está localizado no infinito. (Figura 4-16)

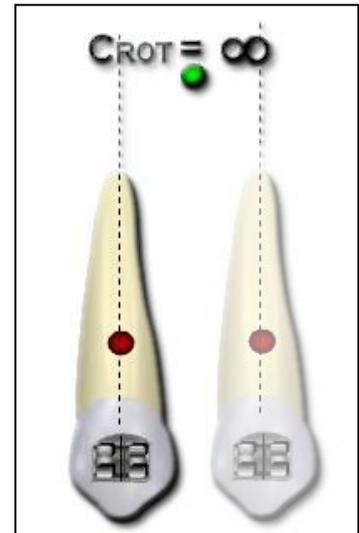


FIGURA 4-16 – Movimento de translação: Centro de rotação (C_{ROT}) no infinito.

Os prolongamentos do longo eixo do dente em sua posição inicial e em sua posição final formarão duas linhas paralelas, (assim, como duas retas paralelas se encontram no infinito, diz-se que o centro de rotação em um movimento de translação também está localizado no infinito).

- Movimento de rotação pura = C_{ROT} coincidente com o C_{RES} .

Quando um binário é aplicado a um dente, este sofre um movimento de rotação pura. O dente gira ao redor de seu C_{RES} . Nestes casos, diz-se que o centro de rotação está localizado sobre o centro de resistência. ($C_{ROT} = C_{RES}$) (Figura 4-17)

Nos casos de rotação pura não ocorre movimentação do centro de resistência.⁹

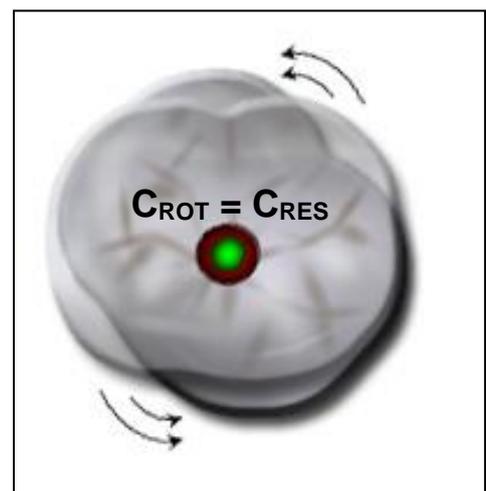


FIGURA 4-17 – Movimento de rotação pura: Centro de rotação (em verde) coincide com o centro de resistência (em vermelho).

Um binário aplicado a um braquete ou a um tubo pode gerar momentos nos três planos do espaço. (binários de primeira, segunda ou terceira ordem) (Figura 4-18)

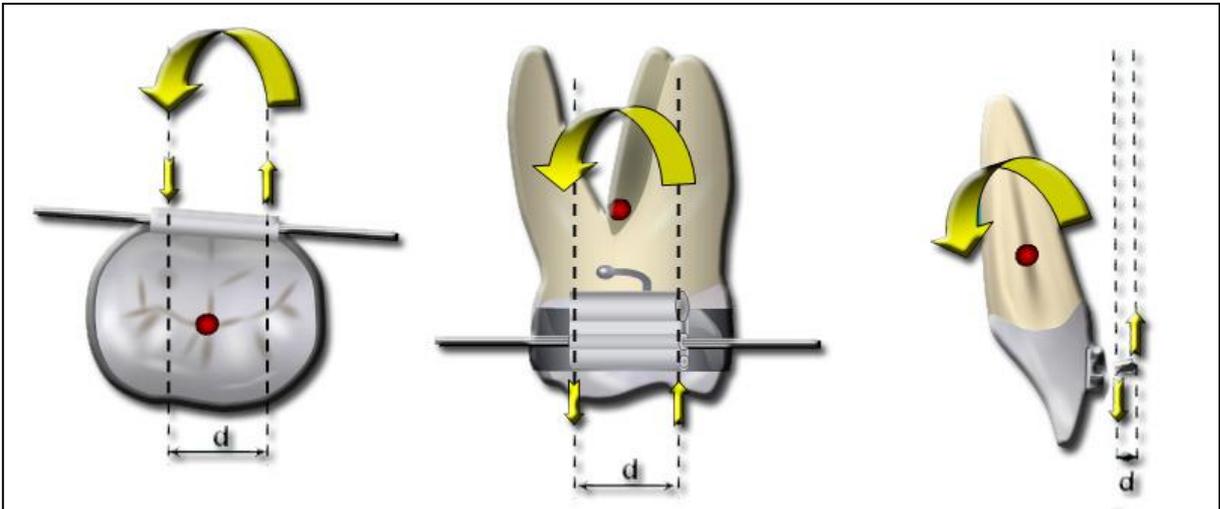


FIGURA 4-18 – Exemplos de binários em primeira, segunda e terceira ordem respectivamente. (adaptado de Britto e Isaacson 2004)⁹

Binários de primeira ordem irão gerar tendência de rotação ao redor do longo eixo do dente. (Figura 4-19)

Binários de segunda ordem irão gerar tendência de rotação ao redor do eixo vestibulo-lingual do dente. A este tipo de movimentação em ortodontia dá-se o nome de angulação. (Figura 4-19)

Binários de terceira ordem irão gerar tendência de rotação ao redor do eixo mesio-distal do dente. A este tipo de movimentação em ortodontia dá-se o nome de inclinação ou torque. (Figura 4-19)

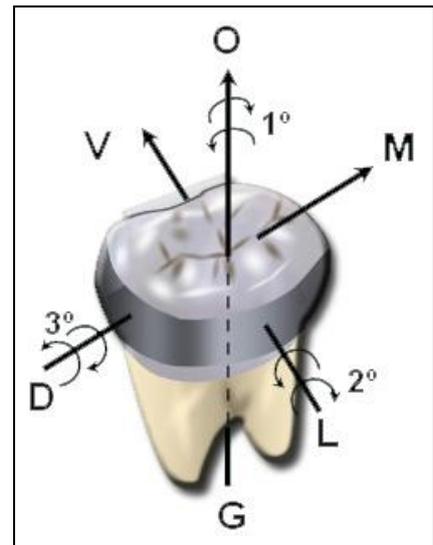


FIGURA 4-19 – Eixos de rotação dos binários de primeira, segunda e terceira ordem. (adaptado de Oliveira 2000)¹³

Uma atenção especial deve ser dada aos binários de terceira ordem.

Quando um fio quadrado ou retangular é inserido na canaleta de um braquete, de forma que este não entre passivo, (ou seja, gerando força), dois pontos de contato serão formados entre o braquete e o fio no sentido sagital, criando assim um binário de terceira ordem.

Como visto anteriormente, um binário consiste da ação de duas forças paralelas, não coincidentes, de mesma magnitude, mesma direção e sentidos opostos provocando uma tendência de rotação pura, denominado de momento de um binário. $(Mb)^{1-6;8-15;18;20}$

Em um binário de terceira ordem gerado dentro da canaleta de um braquete, apesar das forças serem de igual magnitude, a linha de ação de cada uma delas possui diferentes distâncias perpendiculares ao C_{RES} do dente, gerando assim momentos de magnitudes diferentes e em sentidos opostos. (Figura 4-20)

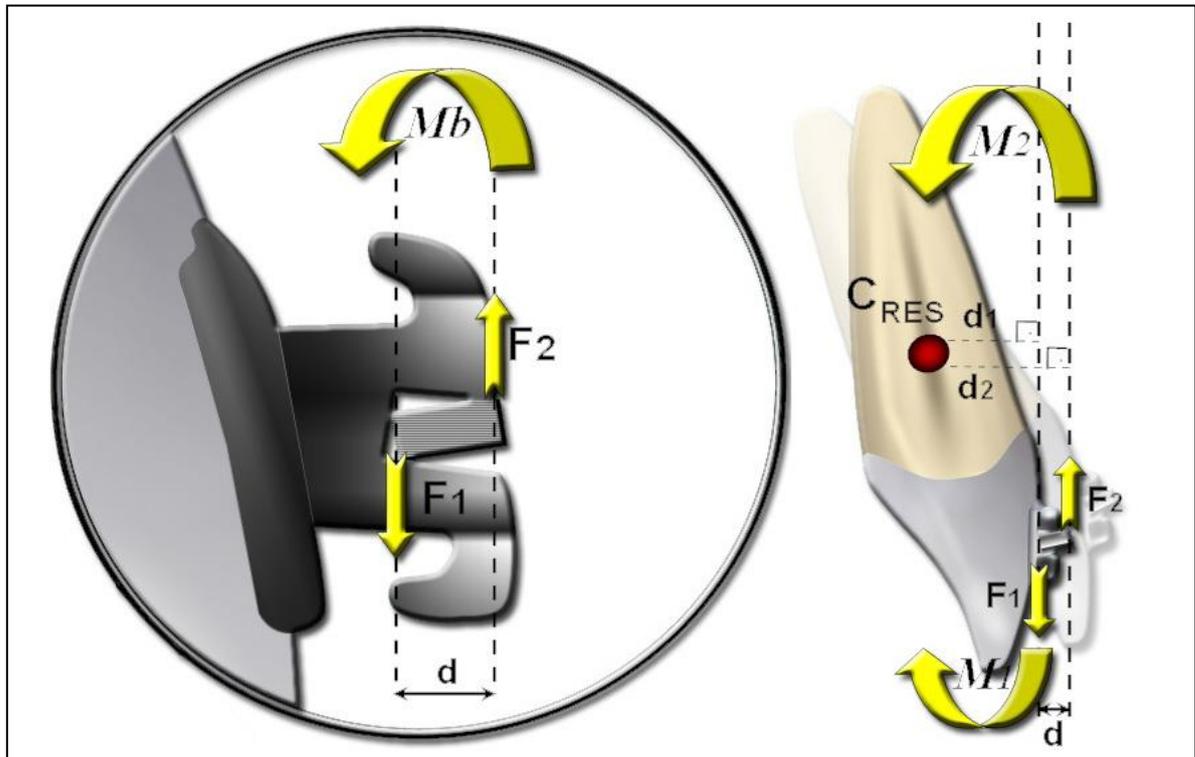


FIGURA 4-20 – Binário de terceira ordem. Forças iguais (F_1 e F_2) com distâncias (d_1 e d_2) e momentos (M_1 e M_2) diferentes.

Na figura 4-20, a força mais próxima do C_{RES} do dente (F_1) produz um momento de menor magnitude (M_1), devido a menor distância (d_1), em sentido horário. ($M = F \times d$)

Já a força mais distante do C_{RES} do dente (F_2) produz um momento de maior magnitude (M_2), devido a maior distância (d_2), em sentido anti-horário.

Momentos em sentidos opostos agindo sobre o mesmo dente são subtraídos de forma algébrica. Desta forma, o momento de menor magnitude, no sentido horário (M_1), é subtraído do momento de maior magnitude, no sentido anti-horário (M_2). O resultado é um momento menor no sentido anti-horário (M_b) que agirá sobre o dente como se as forças que o geraram estivessem equidistantes do C_{RES} do dente.

Independente da posição onde o braquete for colado ao dente, um binário de terceira ordem irá gerar sempre rotação pura. ($C_{ROT} = C_{RES}$)

- Combinação dos movimentos de Translação e Rotação = C_{ROT} mutável.

Quando a linha de ação de uma força simples passa fora do centro de resistência de um corpo, este sofre uma combinação dos movimentos de translação e rotação. (Figura 4-21)

Nestes casos o C_{ROT} pode se localizar dentro ou fora do corpo, podendo se aproximar do C_{RES} , mas nunca serão coincidentes.^{6;9}

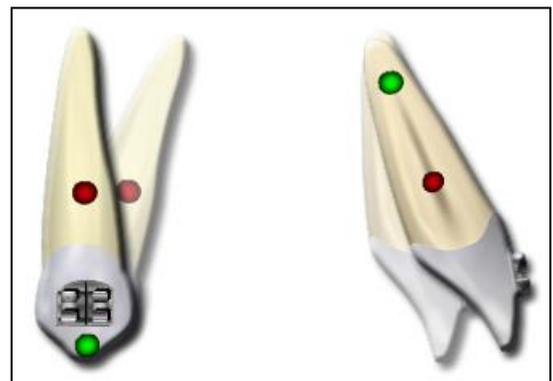


FIGURA 4-21 – Combinação dos movimentos de translação e rotação: Centro de rotação (C_{ROT}) em algum lugar dentro ou fora do corpo.

Quanto mais próximo a linha de ação da força passar do C_{RES} , mais translacional será o movimento, e mais distante do corpo se localizará o C_{ROT} .⁶

4. Construção do Centro de Rotação:

Existe uma maneira correta de se determinar a posição do centro de rotação, entre duas posições (inicial e final), para qualquer movimentação dentária. (Figura 4-22)

Primeiro, escolhe-se dois pontos quaisquer no dente que será analisado.

Traça-se uma linha ligando a posição inicial e final de cada um destes pontos. Determina-se o ponto médio de cada uma destas linhas.

A partir destes pontos, traça-se uma linha perpendicular às linhas traçadas anteriormente.

A intersecção destas duas linhas determinará o centro de rotação entre as duas posições observadas.

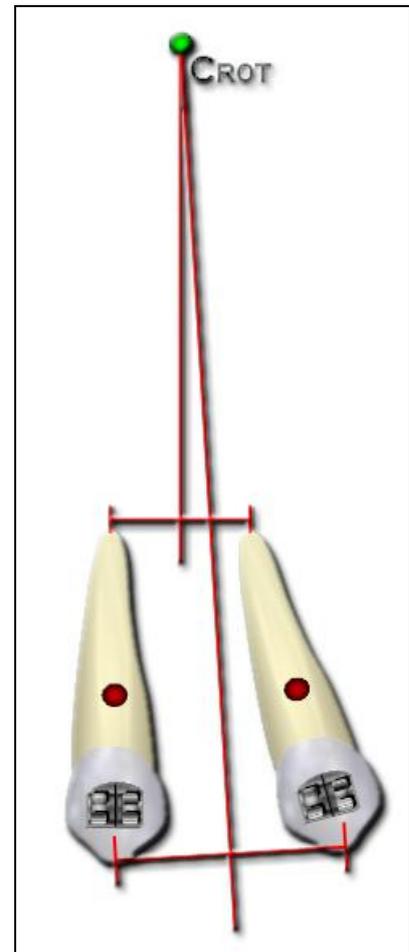


FIGURA 4-22 – Construção do centro de rotação (CROT). (adaptado de Smith e Burstone 1984)⁶

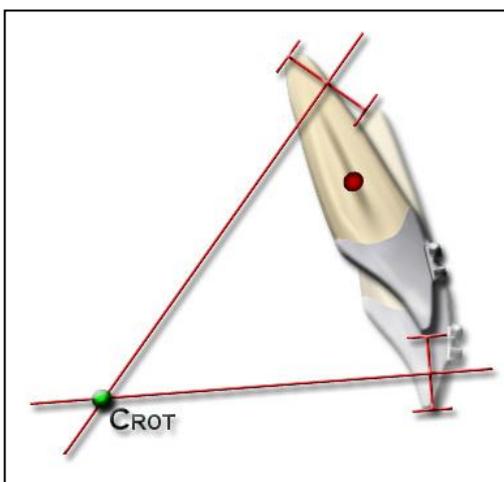


FIGURA 4-23 – Centro de rotação (CROT) durante intrusão dentária. (adaptado de Smith e Burstone 1984)⁶

O centro de rotação (CROT) não precisa, necessariamente, estar localizado próximo ao longo eixo do dente.^{6:18}

Em movimentos intrusivos, o CROT localiza-se quase perpendicular ao longo eixo do dente. (Figura 4-23)

O C_{ROT} também pode ser identificado para movimentos dentários observados em vista oclusal. (Figura 4-15 e 4-17)

Na verdade, o centro de rotação descreve apenas um dos possíveis caminhos que o corpo seguiu para sair de sua posição original até a sua posição final.¹

Ao se determinar o centro de rotação de um movimento dentário, o que realmente se determina é um centro de rotação instantâneo.²⁰

Apenas um centro de rotação pode ser construído para duas posições do dente (inicial e final). Porém, isso não significa que apenas um ponto agiu como o centro de rotação para todo o movimento. O dente pode ter chegado a sua posição final seguindo um caminho irregular, inclinando primeiro de uma forma e depois de outra.^{6;47}

Quando um dente se movimenta, o sistema de força atuante pode sofrer alterações. Desta forma, um centro de rotação mutável é mais a regra do que a exceção.^{6;47}

Para uma movimentação constante ao redor de um único centro de rotação seriam necessárias duas forças com suas direções constantemente alteradas.¹⁸ (Figura 4-24)

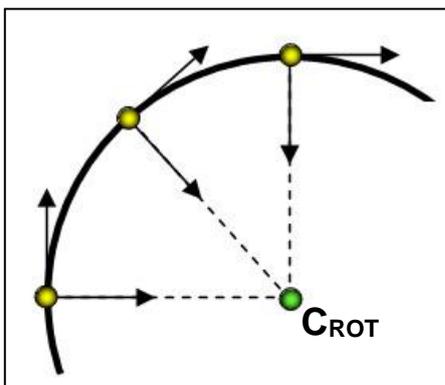


FIGURA 4-24 – Movimento curvilíneo.

Em física, movimento curvilíneo (circular ou rotatório) é composto por uma força tangente à curva e outra perpendicular à primeira força em direção ao centro rotacional do movimento (força centrípeta).

5. Centro de Rotação e os tipos de movimentos dentários:

Ao se aplicar uma força simples sobre a coroa de um dente, este sofrerá uma tendência de rotação gerada pela força e pela distância entre a linha de ação da força e o C_{RES} do dente.

Como resultado, o dente se movimentará por um processo simultâneo de translação e rotação.^{9;17;47}

A coroa do dente se movimentará para um lado e o ápice radicular se movimentará ligeiramente em direção oposta.

A este tipo de movimento dentário dá-se o nome de **inclinação não-controlada**. (Figura 4-25)

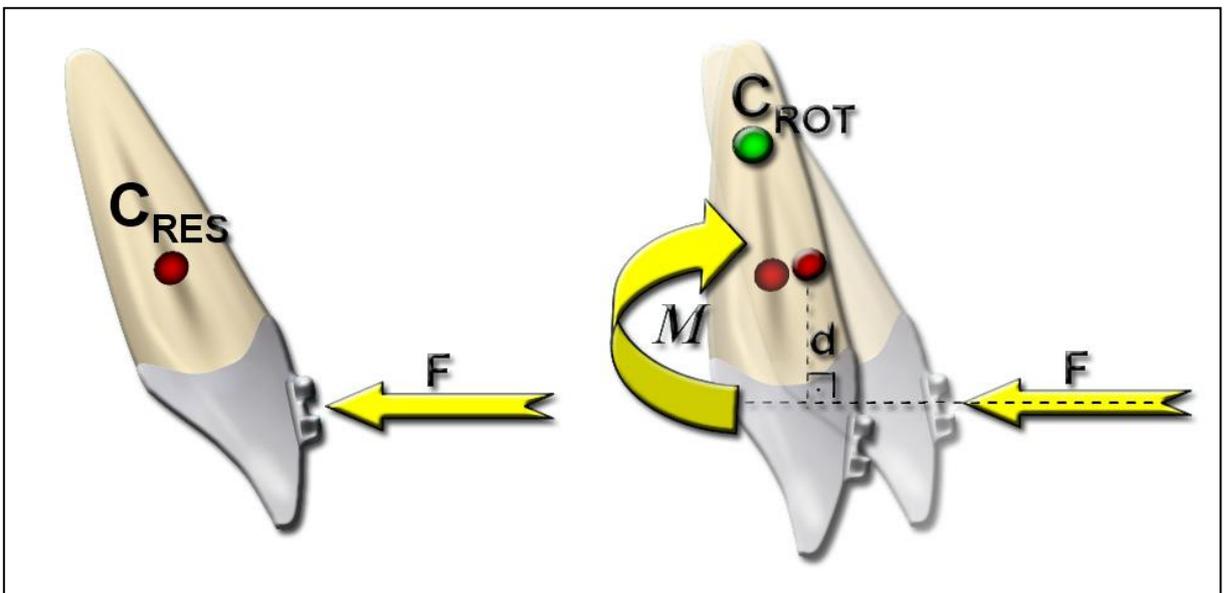


FIGURA 4-25 – Inclinação não-controlada: Ação de uma força simples sobre a coroa de um dente.

Se este tipo de movimento é indesejado, uma das maneiras de alterar esta movimentação dentária é alterando posição do C_{ROT} , e uma das formas de se fazer isso é alterando a posição da linha de ação da força.

Quanto mais próximo do C_{RES} passar a linha de ação da força, mais próximo de um movimento translacional será o movimento dentário e mais distante se localizará o C_{ROT} .⁶ Quanto menor a distância (d); menor o momento (M).

Desta forma, se o movimento dentário desejado for uma inclinação onde o ápice radicular não altere sua posição, (**inclinação controlada**), o C_{ROT} deve localizar-se no próprio ápice e a linha de ação da força deve passar próximo da junção amelocementária do dente.⁴ (Figura 4-26B)

Se o movimento desejado for de **translação**, a linha de ação da força deve passar sobre o C_{RES} do dente, e o C_{ROT} se localizará no infinito. (Figura 4-26C)

Mas caso o movimento desejado for apenas um **movimento radicular**, sem muita alteração da posição da coroa, a linha de ação da força deve passar para o outro pólo do dente, em direção ao ápice radicular, invertendo, desta forma, a posição do C_{ROT} .⁴ (Figura 4-26D)

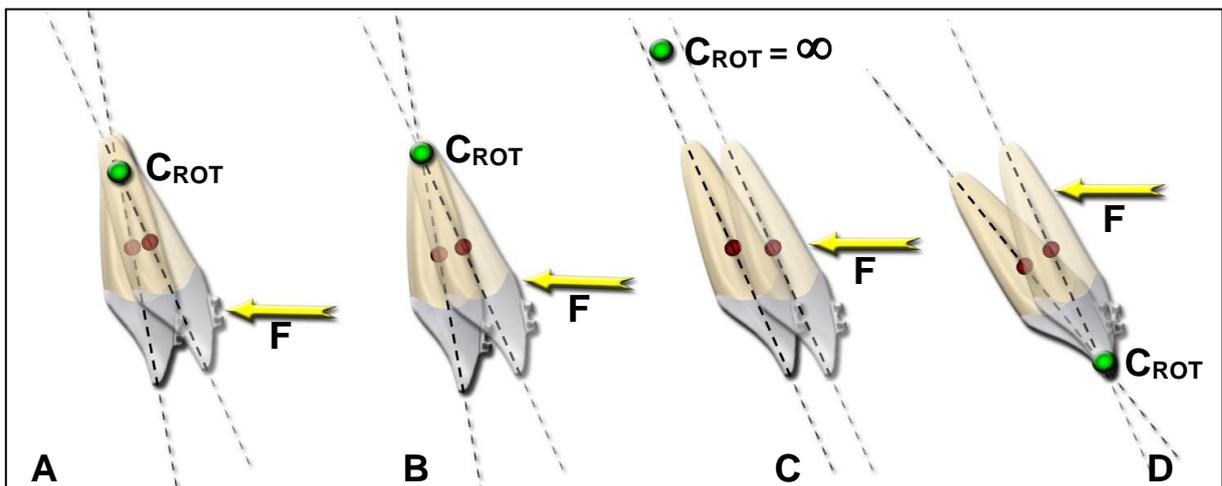


FIGURA 4-26 – Diferentes distâncias entre a linha de ação da força e o centro de resistência de um dente determinando diferentes posições para os centros de rotação, e conseqüentemente, diferentes tipos de movimentos dentários: **A** – Inclinação não-controlada; **B** – Inclinação controlada; **C** – Translação; **D** – Movimento radicular. (Adaptado de Burstone, 2003)⁴

Em outras palavras, ao se controlar a localização do centro de rotação (C_{ROT}) controlar-se-á o tipo de movimentação que o dente irá sofrer.^{6;48}

A localização precisa da linha de ação de uma força simples necessária para gerar diferentes tipos de movimentação dentária, (diferentes C_{ROT}) pode ser expressa em relação ao comprimento radicular medido do ápice até o osso alveolar.³⁰ (figura 4-27)

Na figura 4-27 uma força simples foi aplicada a um dente em seis diferentes posições horizontais, gerando seis diferentes posições para o C_{ROT} .

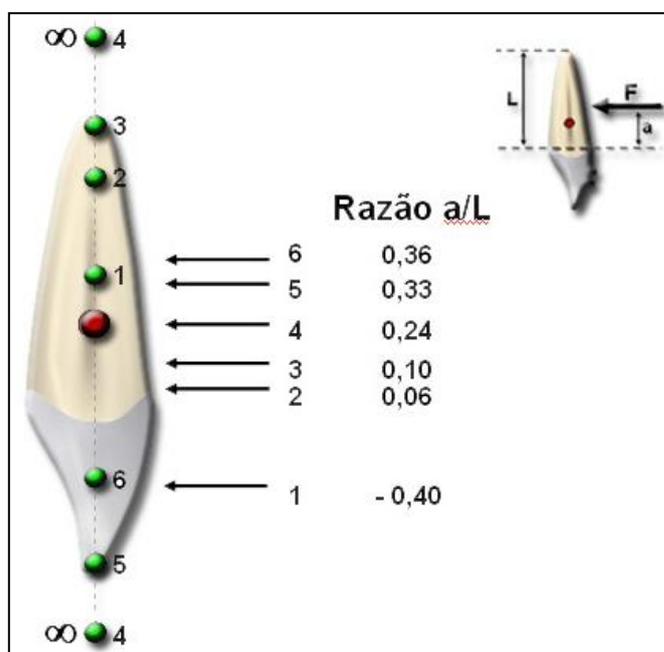


FIGURA 4-27 – Localização do C_{ROT} (em verde) variando a posição de uma força simples no sentido vertical. (Adaptado de Tanne, 1988)³⁰

Na figura 4-27 podemos afirmar que a posição do C_{RES} corresponde a 24% do comprimento radicular da crista alveolar ao ápice, pois foi justamente nesta posição (4) que o dente transladou (C_{ROT} no infinito).

Podemos verificar ainda que pequenas alterações na posição da força (de 3 para 5, uma alteração de cerca de 23 % do comprimento radicular) pode produzir centros de rotação clinicamente antagônicos para a movimentação de um dente.³⁰

A localização da força é determinada dividindo-se a distância do ponto de aplicação da força até a crista alveolar (a) pelo comprimento radicular do ápice à crista do rebordo alveolar (L). O valor encontrado representa a posição onde a força deve ser aplicada para gerar determinados centros de rotação.

6. Razão momento/força:

Porém, em ortodontia, é praticamente impossível aplicar uma força diretamente sobre a posição radicular desejada, mesmo com o auxílio dos braços de força (“power arm”).

Existe, no entanto, outro modo de se controlar e até mesmo eliminar o momento gerado por uma força simples aplicada na coroa de um dente, (como aquele observado na figura 4-25), basta acrescentar a esta força um momento de um binário (M_b) em sentido oposto ao momento gerado pela força simples.

Se o momento do binário aplicado for igual em magnitude e oposto em sentido ao momento gerado pela força simples o dente não sofrerá tendência de giro, e se movimentará de corpo (translação). (figura 4-28)

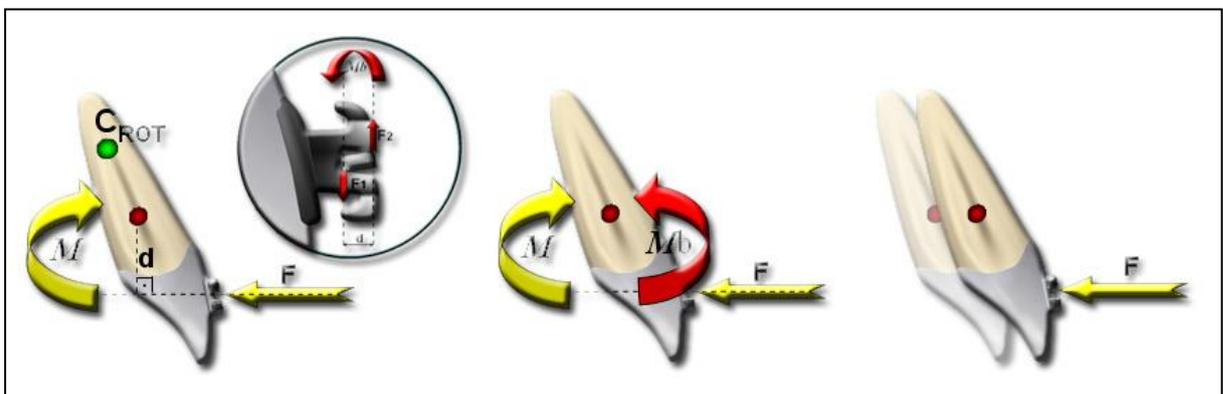


FIGURA 4-28 – Translação: Momento do binário gerado no braquete de igual magnitude e sentido oposto ao binário gerado pela ação de uma força simples agindo fora do C_{RES} de um dente. Os momentos se anulam restando apenas a força, que faz o dente se movimentar de corpo.

Note que a distância entre as forças do binário gerado no braquete é extremamente pequena (largura do fio retangular) portanto, as forças necessárias para criar um momento de igual magnitude e sentido contrário daquele gerado pela força simples, são extremamente pesadas. A forma de se compensar isso é aplicando forças simples mais leves, para que as forças do binário não precisem ser tão pesadas.¹⁵

O tipo de movimento dentário depende exclusivamente de dois fatores: a força, que translada o dente na direção da linha de ação da força e o momento, que rotaciona o dente ao redor do C_{RES} , no sentido horário ou anti-horário.⁴⁹

Se apenas uma força simples for aplicada sobre o C_{RES} de um dente, este sofrerá um movimento de translação, o C_{ROT} se localizará no infinito. Se apenas um binário for aplicado a um dente, este sofrerá um movimento de rotação pura, o C_{ROT} se localizará sobre o centro de resistência (C_{RES}) do dente. Para qualquer movimentação dentária diferente de um desses dois extremos, translação e rotação pura, uma força e um binário devem estar atuando sobre o C_{RES} do dente.⁶

A aplicação de uma força simples ao braquete é insuficiente para se produzir um movimento diferente daquele de inclinação não-controlada, portanto, para diferentes tipos de movimentos, uma tendência rotacional (momento de um binário) deve ser incorporada ao braquete para se controlar a posição do C_{ROT} .⁴ (figura 4-29)

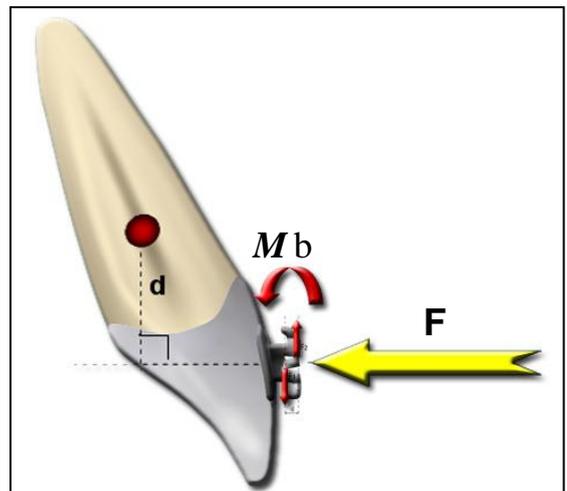


FIGURA 4-29 – Razão momento/foca: Divide-se o momento de um binário gerado no braquete por uma força simples aplicada na coroa de um dente.

O ato de se combinar forças e momentos para produzir o tipo de movimentação dentária desejada (força para movimentar o dente e binário para rotacionar a raiz) é denominado de proporção momento/força, relação momento/força ou mais corretamente, **razão momento/força**.⁹

A razão entre a tendência rotacional e a força aplicada ao braquete determinará a posição do C_{ROT} e conseqüentemente o tipo de movimento dentário.^{1-6;20;10;11;21;30;31;49}

A razão momento/força representa a distância do bráquete a um ponto no qual aplicada uma única força simples, produziria o mesmo tipo de movimentação dentária.^{6;21}

O momento do binário é quase sempre em sentido oposto ao momento gerado pela ação da força simples.^{6;21} (Exceto nos casos em que se almeja potencializar o movimento de inclinação não-controlada.)

É possível representar graficamente a posição do C_{ROT} e a razão momento/força aplicados no braquete.²¹ (figura 4-30)

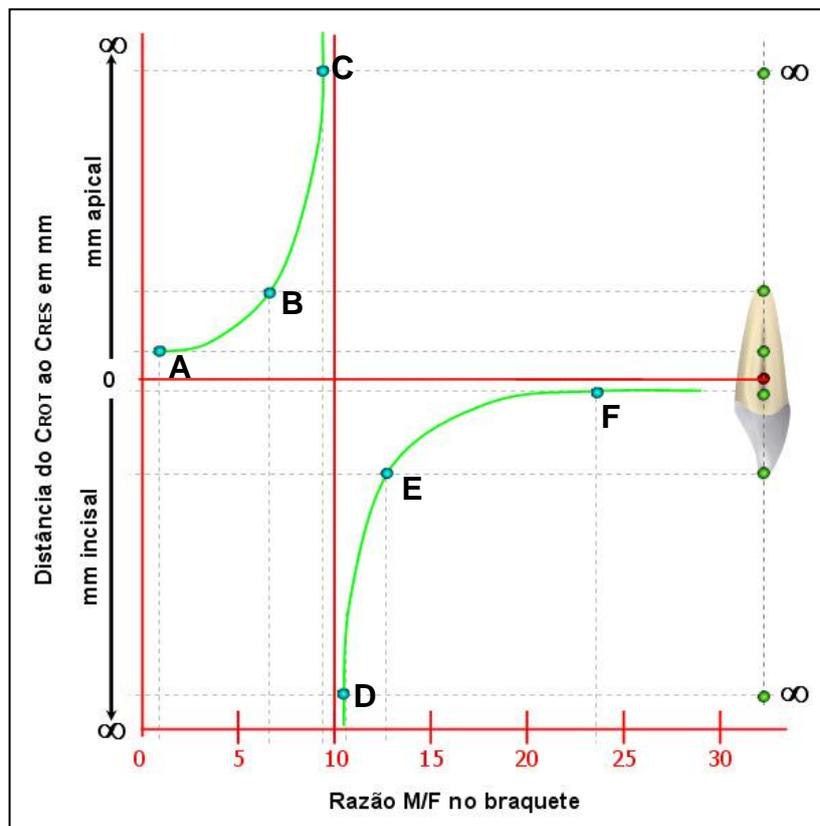


FIGURA 4-30 – Representação gráfica da razão momento/foca.
(Adaptado de Smith e Burstone, 1984)⁶

No gráfico, à medida que a razão momento/força se aproxima do infinito tanto no sentido positivo quanto no sentido negativo, o C_{ROT} se aproxima do C_{RES} .²¹

Ao se aumentar a magnitude do momento gerado no braquete até que este atinja dez vezes a magnitude da força, gerando uma **razão momento/força de 10/1** (para os dentes com a distância entre o braquete e o C_{RES} do dente de 10 mm.), o momento gerado pelo braquete passa a anular o momento gerado pela força simples. Nestes casos o dente passa a responder apenas pela ação da força, movimentando-se de corpo (**translação**), e o C_{ROT} está localizado no infinito. (letra “C” e “D” no gráfico). (figura 4-33)

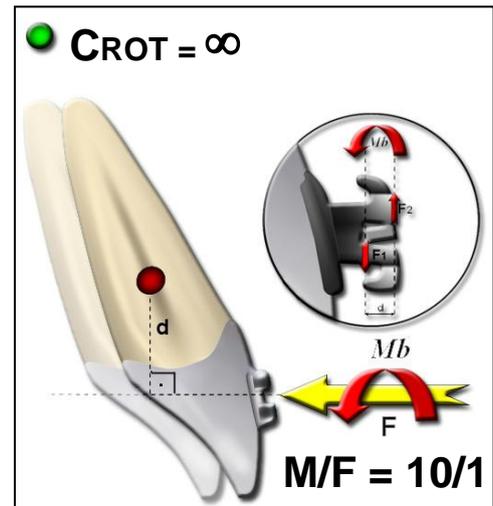


FIGURA 4-33 – Translação.

Quando o binário aplicado no braquete ultrapassa a magnitude do momento necessário para translação, o C_{ROT} passa para o outro pólo do dente, localizando-se em direção incisal ao C_{RES} .

Inicialmente, o C_{ROT} vem do infinito (letra “D” no gráfico) e vai se aproximando do C_{RES} à medida que o momento do binário vai aumentando, até se aproximar do C_{RES} , (letra “F” no gráfico) gerando um movimento próximo ao de rotação pura (momento do binário significativamente maior que a força).

Ao se aumentar a magnitude do momento no braquete cerca de doze vezes a magnitude da força, **razão momento/força de 12/1**, (letra “E” no gráfico) ocorrerá uma movimentação maior da raiz do que da coroa. A este tipo de movimentação dentária dá-se o nome de **movimento radicular**. (figura 4-34)

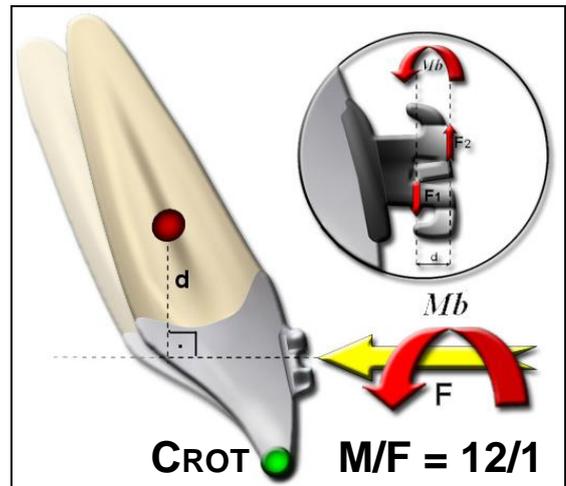


FIGURA 4-34 – Movimento radicular.

Vale lembrar que a unidade de momento em ortodontia é o grama x milímetro. (g.mm) e a unidade de força é o grama (g), de tal forma que a razão momento/força deve ser representada por milímetros. (g.mm / g = mm)⁶

A determinação da distância entre C_{RES} e o C_{ROT} , baseada exclusivamente na razão momento/força, é uma suposição aceitável de um ponto de vista clínico. A distância correta é uma função tanto da direção da força, do comprimento e da morfologia radicular e do estado periodontal do paciente.²⁷

A ação de um sistema de forças (força simples e momento do binário) pode gerar quatro principais tipos de movimentação dentária em relação à razão entre o momento do binário e a força aplicada, conforme demonstrado na tabela 4-1

Tabela 4-1 – Tipo de movimentação dentária em relação ao valor da razão momento/força.

Tipo de movimentação dentária	Razão momento/força
Inclinação não-controlada	0
Inclinação controlada	5/1
Translação	10/1
Movimento de raiz	12/1

Tal classificação serve apenas a propósitos didáticos, pois todos os movimentos intermediários são passíveis de ocorrerem, além disso é extremamente raro que um movimento aconteça em só um plano do espaço.

Desta forma, podemos concluir que o tipo de movimento dentário é determinado pelos seguintes fatores:

- 1) a magnitude, direção e sentido da força ou a resultante das forças aplicadas.
- 2) a razão momento/força (M/F) em relação ao C_{RES} .

Sendo que este segundo fator depende da distância perpendicular do C_{RES} à linha de ação da força.

6 DISCUSSÃO

DISCUSSÃO

Da mesma forma que a revisão de literatura, a discussão é parte integrante do produto desta dissertação e como tal está inserido no resultado.

7 CONCLUSÕES

CONCLUSÕES

A biomecânica se aplica a todos os aparelhos e técnicas.

O estudo da biomecânica por qualquer profissional da saúde, mas principalmente pelos ortodontistas deveria incluir uma ampla ordem de tópicos.

É sugerido que este estudo inclua os seguintes conceitos fundamentais da mecânica ortodôntica:

1. Os fundamentos de forças, momentos, sistemas de força equivalentes, resultantes e componentes.
2. As biomecânicas de movimento dentário: translação, momento e binários em relação ao sistema de força aplicado para o movimento do dente.
3. A habilidade para desenvolver um plano mecânico para um paciente que tenha como início o sistema de força apropriado para o movimento do dente.

Uma ortodontia inteligente é um processo de pensamento onde o ortodontista identifica metas e estabelece um plano de tratamento baseado nos sistemas de força que serão usados para alcançar aquela meta. Só depois que sistemas de força for cuidadosamente estabelecido é que os aparelhos serão selecionados e ajustados para obter esse sistema de força.

A biomecânica ortodôntica não é apenas um assunto teórico. É o início de um raciocínio para a prática clínica. Ortodontia é a aplicação criativa de princípios de biomecânicos.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

1. FIORELLI, G.; MELSEN, B. **Biomechanics in orthodontics**. CD-ROM Rel. 2.0. Libra Ortodontia sd, Arezzo, Italy, 1998.
2. MELSEN, B.; BURSTONE, C.J. **Introduction to biomechanics**. 3.ed. Aarhus:[s.n.], 2003.
3. NANDA, R. **Biomechanics and esthetic strategies in clinical. orthodontics**. St. Louis: Elsevier Saunders, 2005.
4. BURSTONE, C.J.; STEENBERGEN, E.V.; HANLEY, K.J. **A Moderna Mecânica Edgewise e a Técnica do Arco Segmentado**. Tradução Rodrigo F. Viecilli. Livraria Santos Editora Ltda, 2003.
5. MARCOTTE, M.R. **Biomecânica em Ortodontia**. Tradução Mônica Salfatis. São Paulo: 2. Ed. Santos Livraria Editora. 2003.
6. SMITH, R.J.; BURSTONE, C.J. Mechanics of tooth movement. **Am J Orthod** 1984; 85:294-307.
7. RICHARDSON, J.A. **History of Biomechanics and Kinesiology**. Disponível em: <<http://www.usd.edu/~jarichar/HIST.html>>. Acesso em: 22 abr. 2006
8. NICOLAI, R.J. **Bioengineering Analysis of Orthodontic Mechanics**. Philadelphia: Lea & Febiger. 1985.
9. BRITTO, A.D.; ISASCSON, R.J. Como agem os aparelhos ortodônticos. In BISHARA, S.E. **Ortodontia**. Tradução Maria de Lourdes Gianinni. São Paulo. Santos Livraria Editora. 2004.
10. SAKIMA, M.T. *et. al.* Técnica do Arco Segmentado de Burstone. **Rev Dental Press Ortodon Ortop Facial** 2000; 2:.91-115.
11. OLIVEIRA, E.J. **Biomecânica avançada no controle de efeitos colaterais em Ortodontia**. Belo Horizonte, Minas Gerais, Editora do Autor, 2005.
12. PRÄSS, A.R. **Mecânica Clássica**. In física.net. Disponível em: <<http://www.fisica.net/mecanicaclassica/>>. Acesso em: 20 set. 2006
13. OLIVEIRA, E.J. **Biomecânica Básica Para Ortodontistas**. Belo Horizonte, Minas Gerais, UFMG, 2000.
14. HEWITT, P.G. **Física Conceitual**. 9.ed. Ed. Bookman, Porto Alegre. 2002. 685 p.

15. PROFFIT, W.R.; FIELDS, H.W. e SARVER, D.M. **Contemporary Orthodontics**. 4. ed. St Louis, MO, Elsevier Mosby, 2006.
16. HIRATA, M.K. **Centro de Massa**. In Instituto de física Gleb Wataghin da UNICAMP. Disponível em: <http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2005/MiguelK-Rigitano_RF.pdf>. Acesso em: 22 out. 2006
17. ISAACSON, R.J.; LINDAUER, S.J.; DAVIDOVITCH, M. The ground rules for arch wire design. **Semin Orthod** 1995; 1:3-11.
18. HOCEVAR, R.A. Understanding, planning, and managing tooth movement: Orthodontic force system theory. **Am J Orthod** 1981; 80:457-477.
19. PAPAGEORGIOU, I.S. The center of resistance of teeth in Orthodontics. **Hell Orthod Rev** 2005; 8:41-55.
20. CHRISTIANSEN, R.L.; BURSTONE, C. J. Centers of rotation within the periodontal space. **Am J Orthod** 1969; 55:353-369.
21. BURSTONE, C.J.; PRYPUTNIEWICZ, R.J. Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces. **Am J Orthod** 1980; 77:581-588.
22. YOSHIDA, N.; *et al.* Experimental evaluation of initial tooth displacement, center of resistance, and center of rotation under the influence of an orthodontic force. **Am J Orthod Dentofacial Orthop** 2001; 120:190-197.
23. MELSEN, B. Adult orthodontics: factors differentiating the selection of biomechanics in growing and adult individuals. **Int J Adult Orthod Orthognath Surg** 1988; 3:167-177.
24. MANHARTSBERGER, C.; MORTON, J.Y.; BURSTONE, C.J. Space closure in adult patients using the segmented arch technique. **Angle Orthod** 1989; 59:205-210.
25. MATSUI, S.; *et. al.* Center of resistance of anterior arch segment. **Am J Orthod Dentofacial Orthop** 2000; 118:171-178.
26. SIA, S.; KOGA, Y e YOSHIDA, N. Determining the Center of Resistance of Maxillary Anterior Teeth Subjected to Retraction Forces in Sliding Mechanics. **Angle Orthod** 2007; 77:999-1003.
27. NÄGERL H., BURSTONE C.J., BECKER B, KUBEIN-MESSENBURG D. Center of Rotation with Transverse Forces. **Am J Orthod Dentofacial Orthop** 1991; 99:337-345.
28. HALAZONETIS D.J. Computer experiments using a two-dimensional model of tooth support. **Am J Orthod Dentofacial Orthop** 1996; 109:598-606.
29. DERMAUT L.R., KLEUTGHEN J.P.G., DE CLERCK H.J.J. Experimental determination of center of resistance of the upper first molar in a macerated human skull submitted to horizontal headgear traction. **Am J Orthod** 1986; 90:29-36.

30. TANNE, K.M.; KOENIG, H.A.; BURSTONE, C.J. Moment to force ratios and the centers of rotation. **Am J Orthod Dentofacial Orthop** 1988; 94:426-431.
31. TANNE, K.M.; *et. al.* Patterns of initial tooth displacements associated with various root lengths and alveolar bone heights. **Am J Orthod Dentofacial Orthop** 1991; 100: 66-71.
32. SCHNEIDER, J.; GEIGER, M.; SANDER, F.G. Numerical experiments on longtime orthodontic tooth movement. **Am J Orthod Dentofacial Orthop** 2002; 21: 257-65.
33. PRYPUTNIEWICZ, R.J.; BURSTONE C.J. The effect of time and force magnitude on orthodontic tooth movement. **J Dent Res** 1979; 58: 1754-1764.
34. PEDERSEN, E.; *et. al.* Location of centres of resistance for maxillary anterior teeth measured on human autopsy material. **Eur J Orthod** 1991; 13:452-8.
35. VAN den BULCKE MM, *et. al.* Location of the centers of resistance for anterior teeth during retraction using the laser reflection technique. **Am J Orthod Dentofacial Orthop.** 1987; 91: 375-84.
36. DERMAUT, L.R.; van den BULCKE, M.M. Evaluation of intrusive mechanics of the type "segmented arch" on a macerated human skull using the laser reflection technique and holographic interferometry. **Am J Orthod** 1986; 89: 251-63.
37. VAN den BULCKE, M.M.; *et. al.* The center of resistance of anterior teeth during intrusion using the laser reflection technique and holographic interferometry. **Am J Orthod Dentofacial Orthop** 1986; 90: 211-20.
38. CHOY, K.; KIM, K.H.; BURSTONE, C.J. Initial changes of centres of rotation of the anterior segment in response to horizontal forces. **Eur J Orthod.** 2006 28: 471-474.
39. SIATKOWSKI, R. The role of headgear in Class II dental and skeletal corrections. In: Nanda, R. **Biomechanics in clinical orthodontics**. Philadelphia: WB Saunders Company, 1997; 109-142.
40. STOCKLI, P.W.; TEUSCHER, U.M. Combined activator headgear orthopedics. In Graber TM, Swain BF, eds. **Orthodontics: Current principles and techniques**. St Louis: CV Mosby, 1985: 405-83.
41. NANDA, R. Biomechanical and clinical considerations of a modified protraction headgear. **Am J Orthod** 1980; 78: 125-139.
42. TEUSCHER, U. A growth-related concept for skeletal Class II treatment. **Am J Orthod** 1978; 74: 258-275.
43. TEUSCHER, U. An appraisal of growth and reaction to extraoral anchorage Simulation of orthodontic-orthopedic results. **Am J Orthod** 1986; 89: 113-121.
44. COTRIN-FERREIRA, F.A. Biomecânica do movimento dental. In. FERREIRA, F.V. **Ortodontia - Diagnóstico e Planejamento Clínico**. Ed. 5. São Paulo – SP. Editora Artes Médicas. 2002.

45. BURSTONE, C.J. Application of bioengineering to clinical orthodontics. In: GRABER, T.M.; VANARSDALL, Jr, R.L.; VIG, K.W.L. (eds): **Orthodontics – current principles and techniques**. 4. ed. St Louis, MO, Elsevier Mosby, 2005, pp. 293-330.
46. BURSTONE, C.J.; KOENIG H.A. Force systems from an ideal arch. **Am J Orthod** 1974; 65:270-289.
47. ISAACSON, R.J.; LINDAUER, S.J.; DAVIDOVITCH, M. On tooth movement. **Angle Orthod** 1993; 63:305-309.
48. NIKOLAI, R.J. Analytical mechanics and analysis of orthodontic tooth movements. **Am J Orthod** 1982, 82: 164-166.
49. KUSY, R.P.; TULLOCH, J.F.C. Analysis of moment/force ratios in the mechanics of tooth movement. **Am J Orthod Dentofacial Orthop** 1986; 90: 127-131