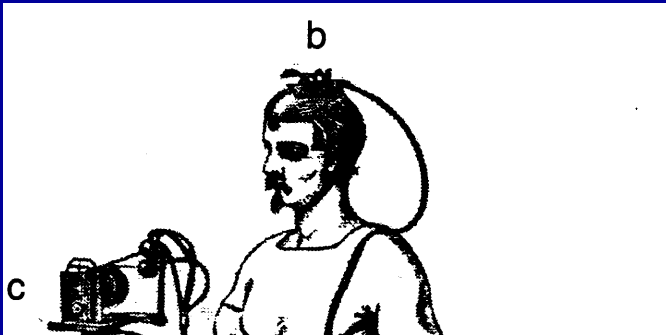


## Dinamometria:

medida de forças – grandezas da cinética que levam à compreensão das causas dos movimentos



*“If “something” is able to keep a spring deformed, this “something” is called a force in a static sense.”*

*“Força é um conceito que deu certo” – BRENFIFOKER, 2006.*



*“If “something” is able to accelerate a mass, this “something” is called a force in a dynamic sense.”*

NIGG, 1999.

- Dinâmica: área da mecânica que estuda o movimento dos corpos sob a ação de forças. Sub-áreas:
  - 1 Cinemática: estudo da geometria do movimento, sem referências às forças;
  - 2 Cinética: estudo da ação de forças sobre os corpos e seus efeitos de deslocamento.
- São variáveis cinéticas:
  - - forças e torques, pressões → ~ “loading” (sobrecarga);
  - - energia mecânica, trabalho, potência, “eficiência”.

## refresco histórico:

- Braune e Fischer entre 1895 e 1901 calcularam as FRS da cinemática;
- Marey: em 1885 publicou o método gráfico, usou um sistema pneumático;
- Amar em 1916: usou um sistema mecânico (molas);
- Elftman em 1938: criou uma placa de força mecânica;
- Cunningham e Brown em 1952 criaram uma placa de força com células de carga (elétrica - resistiva) que media as 6 quantidades (3 forças de reação e 3 momentos);
- Sistemas modernos usam cristais piezoelétricos como transdutores de força;

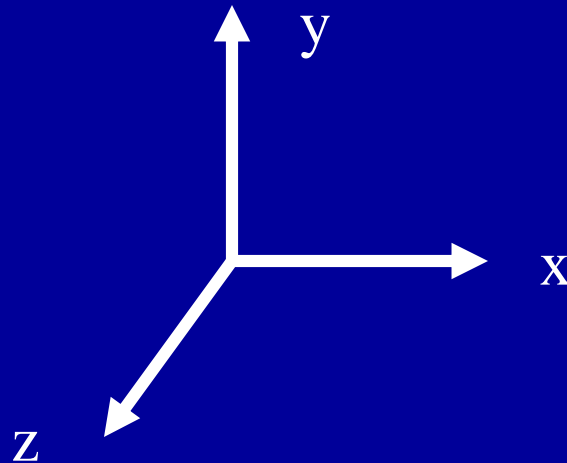
- Definições e unidades:

- força é a grandeza vetorial que causa uma mudança no momento linear de um corpo;
- A aceleração é diretamente proporcional à força e inversamente proporcional à massa do corpo;
- Unidade (SI):  $N$  [Newton] =  $1 \text{ kg.m/s}^2$
- impulso linear é o produto da força pelo tempo de aplicação desta força, [N.s];
- momento linear é o produto da massa pela mudança na velocidade linear, [kg.m/s];

$$\int F_x dt = M (V_{fx} - V_{ix})$$

$$\int F_y dt = M (V_{fy} - V_{iy})$$

$$\int F_z dt = M (V_{fz} - V_{iz})$$



- impacto: caso especial de impulso, mais associado à colisão entre corpos, que gera uma força de contato relativamente grande que atua em intervalos de tempo relativamente pequenos;
- torque: ou momento de força = produto da força pela distância na perpendicular entre a linha de ação desta força e o eixo de rotação [N.m];
- Impulso angular: produto do torque pelo tempo de aplicação deste [Nm.s];

Momento angular: produto do momento de inércia pela velocidade angular [kgm<sup>2</sup>/s];

$$\int \sum M dt = [(I\omega) f - (I\omega) i],$$

Ao redor do centro de massa e de qualquer outro eixo

Pressão: força que atua perpendicularmente a uma dada unidade de área [Pa = N / m<sup>2</sup>];

- Grandezas biomecânicas: forças de reação do solo, forças de reação articulares, forças e torques musculares, forças de impacto (equipamentos esportivos, colisões), distribuição de pressões;

Problemas gerais na determinação destas grandezas  
(adaptado de DAINTY E NORMAN, 1987):

- 1 – o torque articular resultante (net joint torque) pode ser estimado através da Dinâmica Inversa, porém, sua precisão e validade dependem de fatores como: validade do modelo antropométrico utilizado, do procedimento de diferenciação numérica dos dados posicionais;
- 2 – FRS e de impacto em equipamentos são determinadas com relativa precisão, as limitações da medida dependem das características da performance dinâmica dos transdutores de força;



- 3 – a tecnologia envolvida nas medidas de distribuição de pressão ainda limita suas aplicações;
- 4 - a estimativa de forças musculares ainda é o maior problema em Biomecânica. O sucesso da modelagem depende muito da qualidade dos dados quantificados diretamente e das asserções sobre a geometria muscular. Além disso, EMG é sempre necessário para "validar" o modelo;
- 6 – medidas de momentos lineares e angulares dependem dos procedimentos de diferenciação numérica. No caso angular, também das incertezas relativas ao momento de inércia do corpo;

# Em geral, forças externas são medidas e forças internas são computadas!!!

WINTER (1990):

Forças gravitacionais: atuam verticalmente para baixo no centro de massa de cada segmento ( $m \times g$ );

Forças de reação (externas): medidas com transdutores e aplicadas em centros de pressão;

Forças musculares: em geral, calcula-se o efeito líquido (net) da atividade muscular ao redor de uma articulação;

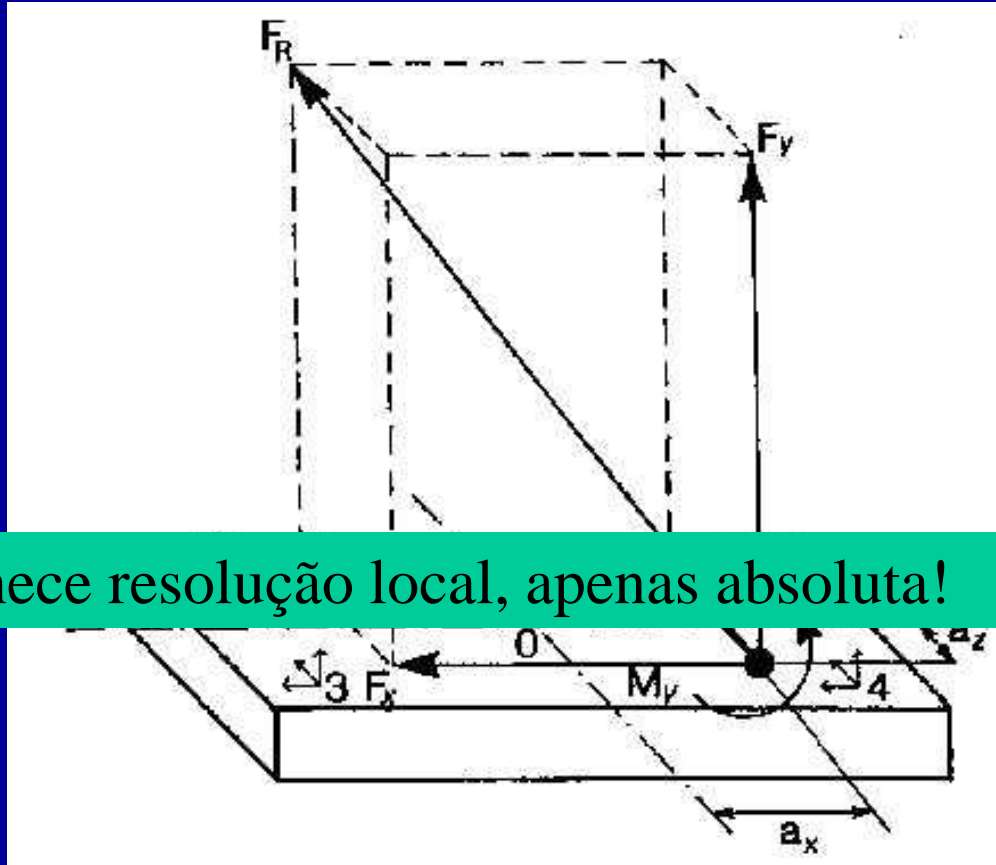
Forças entre os ossos: “bone-to-bone”- é a soma das forças que atuam através da superfície articular e incluem as forças musculares e as reações articulares.

## Relevância das grandezas para a interpretação das causas do movimento humano

- Forças musculares e momentos de força: os padrões em função do tempo informam sobre o nível de "esforço" desempenhado por um grupo muscular numa dada atividade, presença ou não de co-contracções, de atividade de antagonistas ~ atividade coordenativa do SNC;
- Forças de reação articular: informam sobre níveis críticos de força tolerados em atividades de alto impacto (saltos, rebatidas);
- FRS: suas magnitudes 3D, tempo de desenvolvimento e seu ponto de aplicação são usados para identificar padrões de movimentos e avaliar deficiências nas formas de locomoção;

- Impulso: geralmente é avaliado o impulso linear, diretamente das FRS. É avaliado relativamente à massa do corpo, a fim de se identificar o desenvolvimento da velocidade durante o curso do movimento (aceleração ou frenagem);
- Momentos (quantidade de movimento): linear = é em geral usado para avaliar o desenvolvimento da velocidade ( $V_i = 0$ ); angular = usado para examinar o efeito de movimentos segmentares na rotação e posição do corpo (fases de vôo, simulações);
- Distribuição de pressões: usada para avaliar áreas anatômicas de maior concentração de força durante um evento de suporte;

# Métodos de medição



- não fornece resolução local, apenas absoluta!

- **variáveis diretas** (modelo KISTLER): 3 componentes ortogonais de qualquer força aplicada sobre ela, 2 coordenadas do ponto instantâneo de aplicação da força resultante (centro de pressão\*), torque normal à plataforma\*; \*calculados a parte na BERTEC!

## Forças de reação do solo:

ou forças aplicadas contra um objeto externo.

- Medidas através de plataformas de força;
- Representam a soma algébrica do produto massa X aceleração de todos os segmentos corporais;

$$F_x = \sum_{i=1}^N m_i a_{xi}$$

$$F_y = \sum_{i=1}^N m_i (a_{yi} + g)$$

- Transdutores = células de carga (AMTI, BERTEC) ou cristais de quartzo (KISTLER);
  - cristais de quartzo : princípio de medição = efeito piezoelétrico (irmãos CURIE em 1880);
  - características : alta sensibilidade e linearidade, baixa histerese, alta frequência natural, baixo “cross-talk” entre os diferentes eixos, menos sensível ao efeito da temperatura;
  - células de carga: princípio de medição = efeito resistivo (transdutor eletro-resistivo).

## Características comparadas dos transdutores de força:

| Característica   | piezoelétrico                          | célula de carga  |
|------------------|--|------------------|
| amplitude        | ilimitada para aplicações biomecânicas |                  |
| linearidade      | > 99,5% da FSO                         | > 96% da FSO     |
|                  | FSO = “full scale output”              |                  |
| cross talk       | relativamente baixo                    |                  |
| histerese        | muito pequena<br>(<0,5%)               | pequena<br>(<4%) |
| limiar           | < 5mN                                  | 50-100mN         |
| erro sistemático | até 5%                                 | até 5%           |





**Plataforma de força combinada à esteira;**

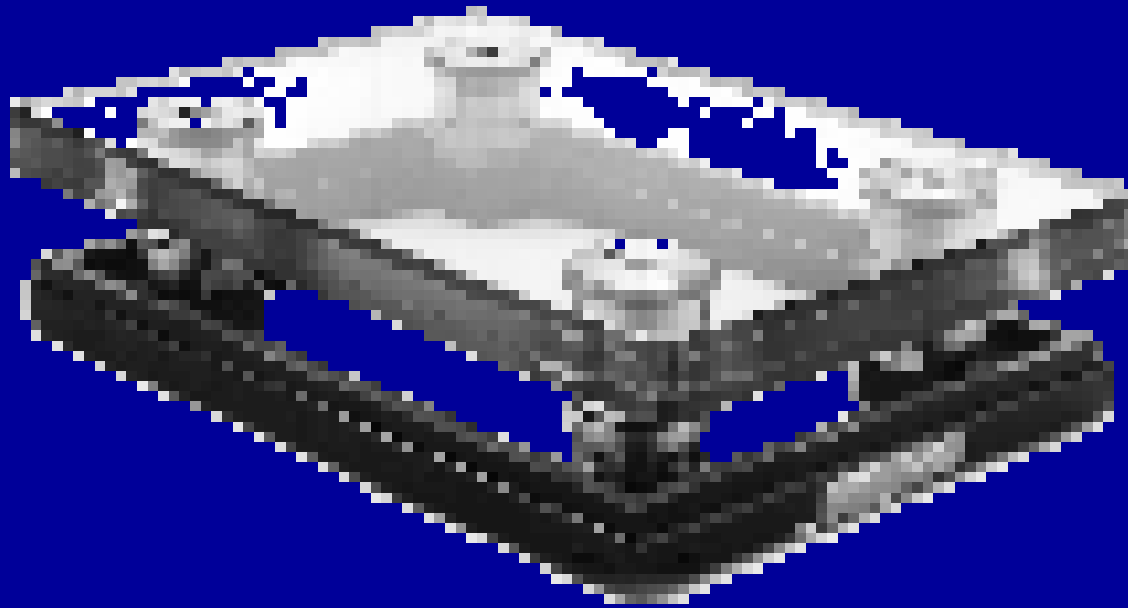
**Mede múltiplos apoios;**

**Software permite recuperar dados individuais de pacientes (Bioware);**

**“Single component”: só mede as componentes verticais da FRS;**

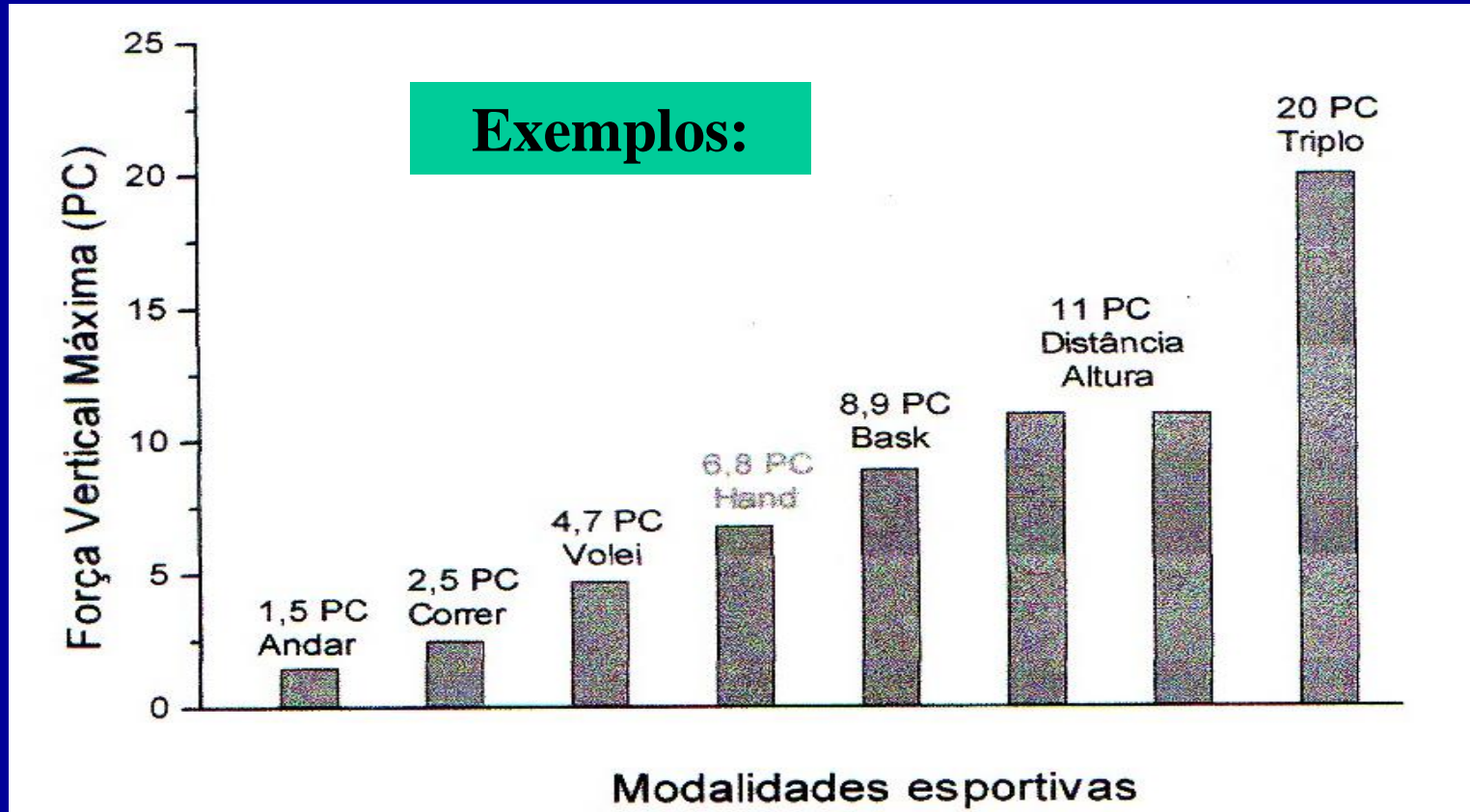
**Sincroniza com vídeo;**

- Top transparente para registro da imagem;
  - dimensão: 400x600mm;
  - até 500 Hz;
  - “multi-component”;
  - sincroniza com vídeo.

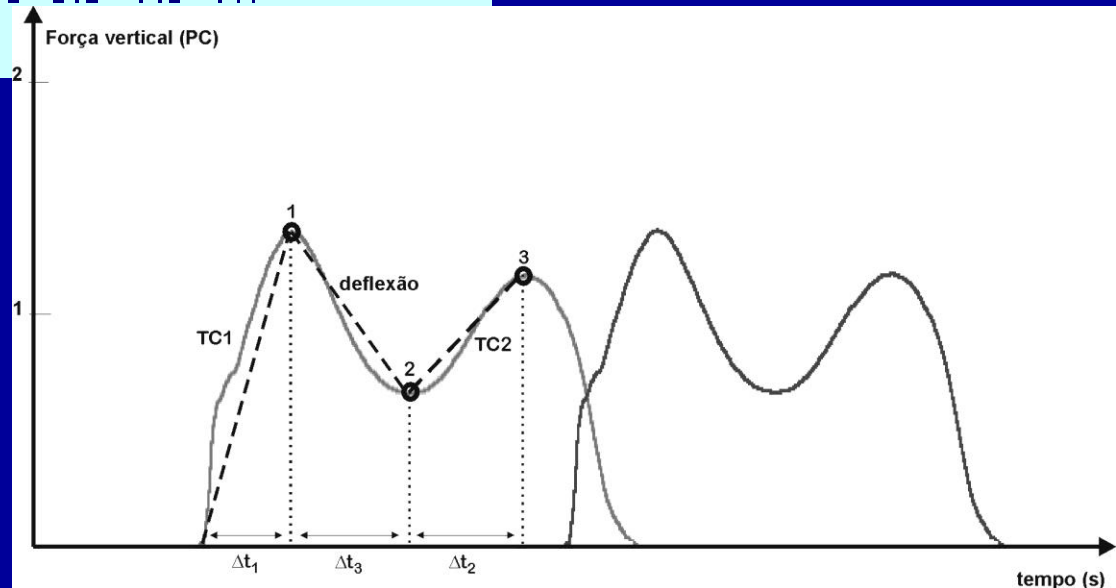
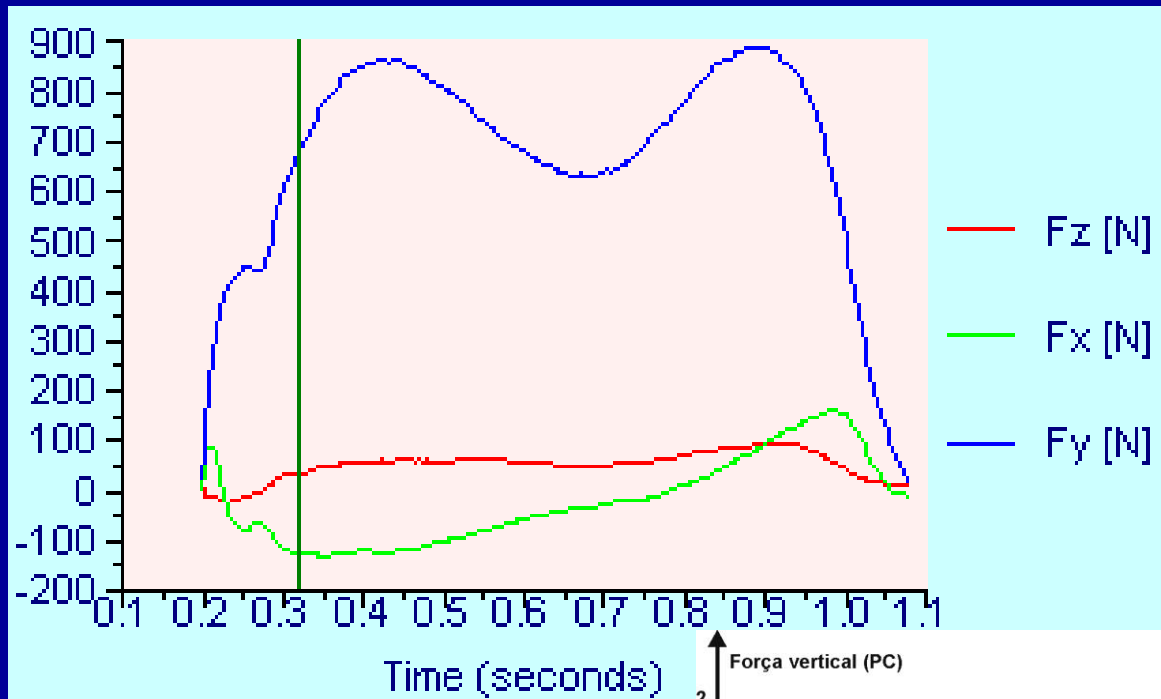


## Recomendações:

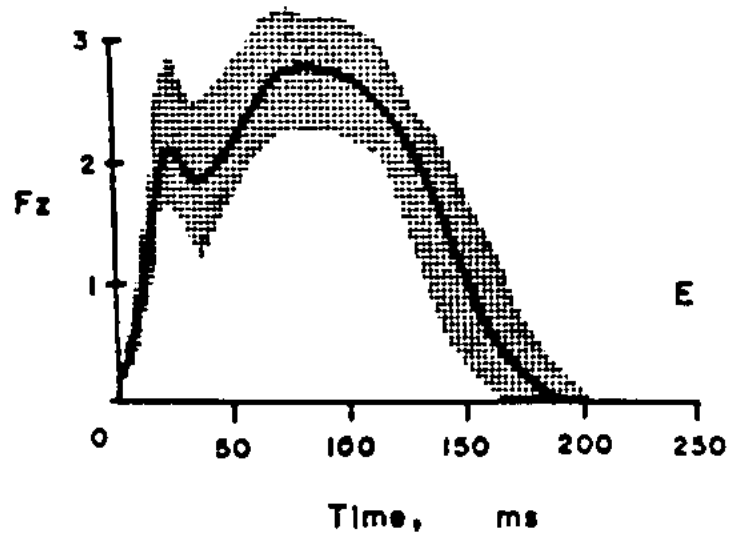
- 1 Dimensões da plataforma;
- 2 Local de instalação = minimizar vibrações;
- 3 Ambiente deve “disfarçar” a plataforma;
- 4 Normalizar dados por % do peso corporal;



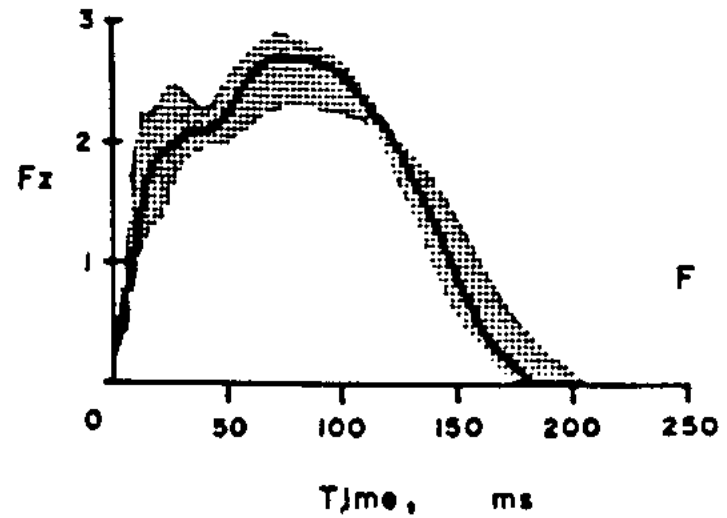
# Exemplo: andar



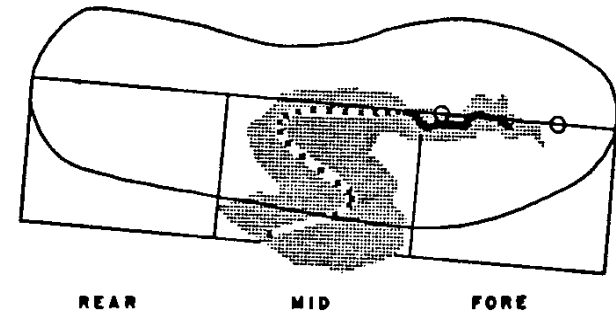
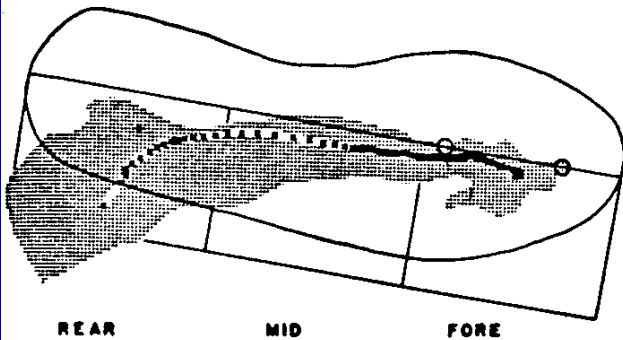
# Exemplo: geometria da colocação do pé no correr



REARFOOT STRIKERS



MIDFOOT STRIKERS



## Pressões :

- Mensuração dinâmica da distribuição de forças em áreas selecionadas de contato da superfície de apoio (plantar/glútea/etc) -  $(F/a)$ ;
- a força considerada é a normal à superfície medida;
- forças horizontais são ignoradas;
- Precursor: HENNIG e col. (1980) usaram cerâmicas piezoelétricas;
- Variáveis diretas: pressão em cada sensor em função do tempo → área sob pressão, força vertical, “gait line” (trajetória do COP); para o pé como um todo ou áreas selecionadas da planta dos pés (com resolução local).

## Aplicações clínicas:

**Na avaliação de:**

- diabetes e outros distúrbios neurológicos que afetem a marcha;**
- anormalidades da marcha;**
- acomodação do peso pré e pós treinamento, tratamentos, cirurgias do pé;**
- monitoramento de desordens degenerativas dos pés;**
- eficiência de órteses;**
- detectar discrepâncias no comprimento dos segmentos;**

- - pressões no sentar, deitar e outras posturas estáticas, com fins de prevenção de ulserações de decúbito;
- - assimetrias e/ou anomalias da marcha;
- - design de calçados esportivos, terapêuticos, infantis;
- - desvios no centro de pressão do pé devidos à hiper-pronação e/ou supinação ou outras alterações técnicas na marcha ou corrida;
- - diagnóstico, decisão terapêutica (“decision making”), controle em contextos terapêuticos, esportivo ou input para modelos biomecânicos.



## **F-Scan mobile (TEKSCAN):**



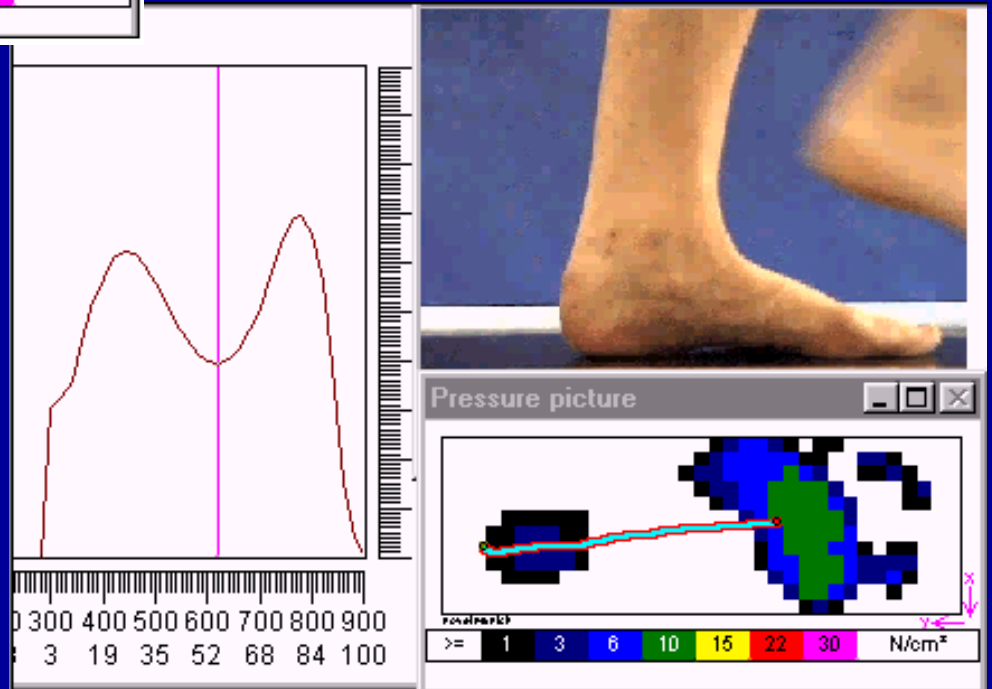
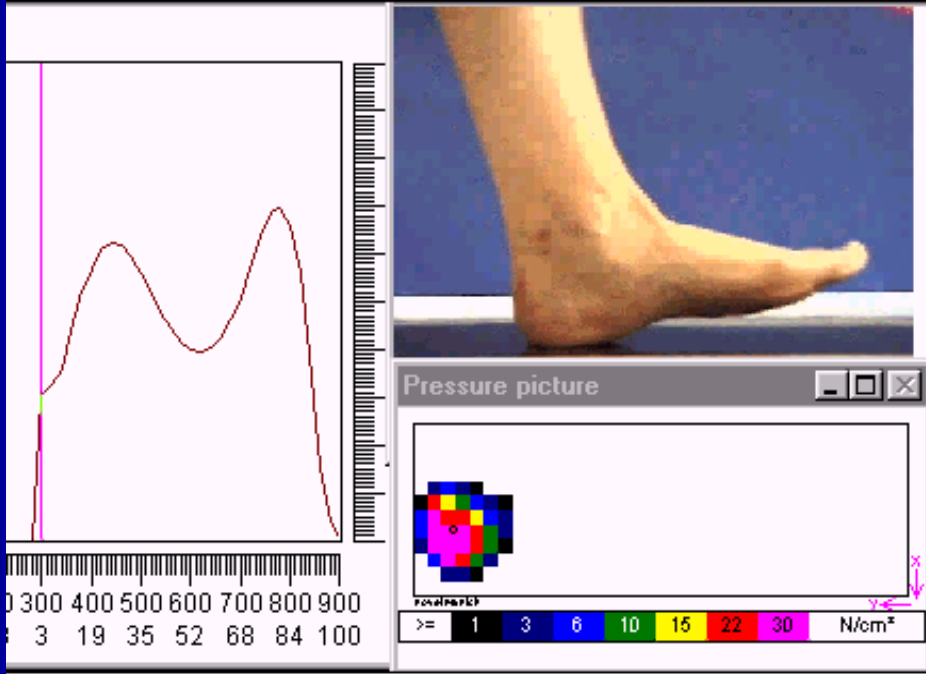
- frequência de amostragem até 500Hz, alta capacidade de armazenamento de dados (onboard storage);
- ideal para aplicações esportivas;
- sujeito transporta uma unidade de registro e bateria, carrega a tornozeleira (cuff) que faz o contato com a palmilha eletrônica dentro do calçado;
- sensor resistivo;
- dados são transferidos ao computador via cabo USB;

# Plataforma podográfica EMED (NOVEL): estudo da estrutura e função do pé, equilíbrio quase estático.

- Dimensões (mm): 582x340x20;
- Resolução (sensors/ cm<sup>2</sup>): 2;
- Frequência (Hz): 25/30;
- Usa sensores capacitivos;
- Amplitude de pressões (kPa):  
10-990;
- Histerese: <3%;



# EMED - marcha



## Sistema Pedar (NOVEL):

- Versão fixa e portátil;
- permite a conexão de canais analógicos para eletromiografia;
- permite a sincronização quadro a quadro para a análise simultânea de vídeo;
- frequência de amostragem de até 100 Hz.



## **Sistema Pliance (NOVEL):**

- **avaliação estática e dinâmica em cadeirantes, equoterapia;**
- **amostra a 40 quadros/s;**
- **sincroniza com sistemas de video;**
- **versão por telemetria ou cartão de memória;**



## Qualidade de um sistema: depende sempre da qualidade do sensor!!!

- verificar: amplitude de mensuração, sensibilidade, frequência natural, linearidade, histerese, “cross-talk”, possibilidades de calibração;
- sensor de quarzo piezoelétrico: + preciso para mensuração de forças dinâmicas;
- sensores resistivos têm alta histerese e muita sensibilidade à temperatura;
- sensores capacitivos são mais adaptáveis a diferentes superfícies e cada sensor é independente dos demais;