

SISTEMAS CIRCULATORÍOS



AULA 2

PRESSÃO E FLUXO

- UMA HIDRODINÂMICA EXTREMAMENTE BÁSICA -

- **Volume:** medida do espaço ocupado por um sólido. Como o sólido pode não estar presente, fica-se somente com o tal espaço. *Para nós, o volume será equivalente a uma quantidade de matéria (massa) de um fluido (gás ou líquido).*
- **Fluxo:** é a variação de volume no tempo. Como, para nós, o volume está relacionado à massa, o fluxo a que nos referimos é uma quantidade de matéria que passa por um certo local por unidade de tempo.
- **Velocidade:** é o quão rápido um ponto se desloca no espaço.
- **Capacitância:** variação de volume por variação de pressão → $C = dV/dP$

Portanto, ...

- ... *fluxo e velocidade **não** são a mesma coisa.* Um fluxo implica em velocidade, pois cada ponto de matéria terá que se deslocar. Contudo, um grande fluxo não implica numa grande velocidade, nem um pequeno fluxo implica numa baixa velocidade.
- A capacitância não tem nada a ver com a velocidade do sangue dentro do vaso, nem com o fluxo. Mais ainda: *capacitância **não é** resistência.*

PARA ONDE VAI O FLUXO?

- Do local de maior pressão para o de menor ?

ENTÃO ...

- Por que o fundo do mar não se esvazia para a superfície?
- Ou uma piscina?
- Ou um copo d'água?

PRESSÃO HIDROSTÁTICA

- Explique:
- por que a pressão no fundo de um recipiente contendo um fluido num campo gravitacional é dependente somente da altura do fluido ?
- por que a pressão é a mesma para todos os lados ?

PORTANTO

- a pressão hidrostática **NÃO** move um fluido e não é responsável por haver fluxo.
- se há fluxo, a pressão tem um componente (hidro)dinâmico
- esta é a diferença de pressão que gera fluxo

A RELAÇÃO ENTRE FLUXO (\dot{V}), VELOCIDADE (U), E ÁREA DE SECÇÃO (A)

- Considere um volume dado por uma certa distância num área de secção A fixa (por exemplo, um cilindro).
- O volume é uma integral definida: $\int A(x) \cdot dx$.
- Como a área é fixa, então:

$$V = A \cdot \Delta x$$

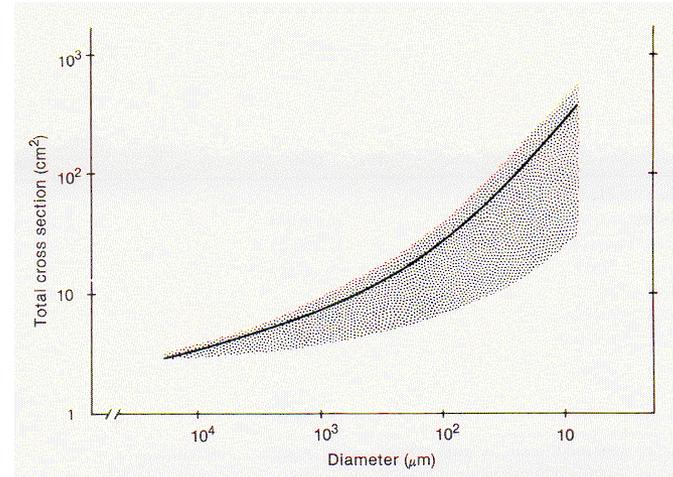
- O fluxo é a variação do volume no tempo. Então, temos que derivar V em t :

$$\dot{V} = \frac{dV}{dt} = A \cdot \frac{dx}{dt} = A \cdot u$$

ASSIM, ...

- ... por uma área de secção fixa, ao se aumentar o fluxo, aumenta-se a velocidade, e vice-versa.
- Por outro lado, considere um fluxo fixo. Se a área de secção aumenta, a velocidade diminui e se a área diminui, a velocidade aumenta.
- *Ou seja, se o fluxo é fixo, a velocidade é inversamente proporcional à área de secção do tubo.*

$$\dot{V} = \frac{dV}{dt} = A \cdot \frac{dx}{dt} = A \cdot u$$



| | área de secção (cm ²) | velocidade (cm/s) | fluxo (cm ³ /s) | volume | |
|--|-----------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|-----------|
| | | | | absoluto (ml) | % |
| aorta | 4.5 | 18.5 | 83 | 300/500 | 14 |
| capilar isolado | 3x10⁻⁷ | 0.02 | - | - | - |
| leito capilar (16x10 ⁹ cap) | 4500 | - | 83 | 300 | 6 |
| vênulas e veias | 3x10⁻⁶ / 3 | - | 83 | 2700 / 1000 | 66 |

“DESAFIO”

- Por que “esprememos” a ponta de uma mangueira para jogar água mais longe ?

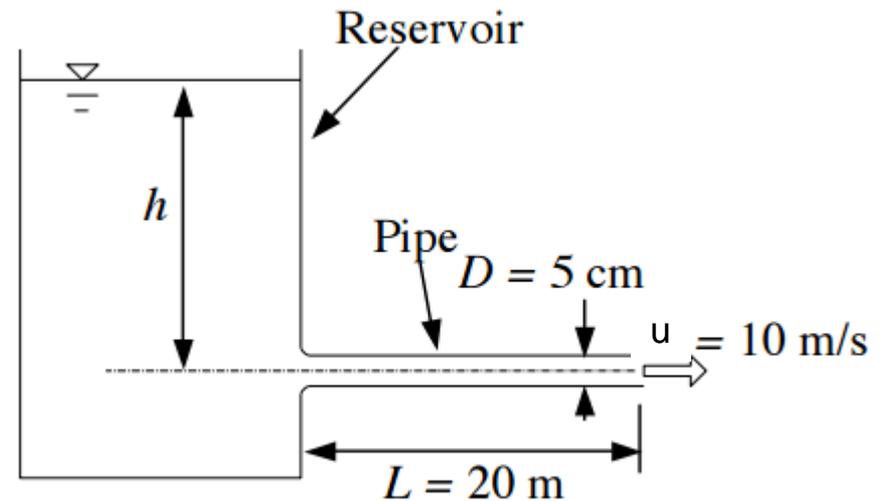
HAGEN-POISEUILLE

$$\dot{V} = \frac{\pi r^4}{8\mu L} \Delta P$$



UM PROBLEMINHA

- Considere o sistema ao lado. O fluido é a água, cuja viscosidade dinâmica é $1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ($0.0075 \text{ torr}\cdot\text{s}$).
- Qual o fluxo na tubulação?
- Qual é a altura h da água no reservatório?
- E se o diâmetro fosse de 10 cm ?



$$\dot{V} = \frac{\pi r^4}{8\mu L} \Delta P$$

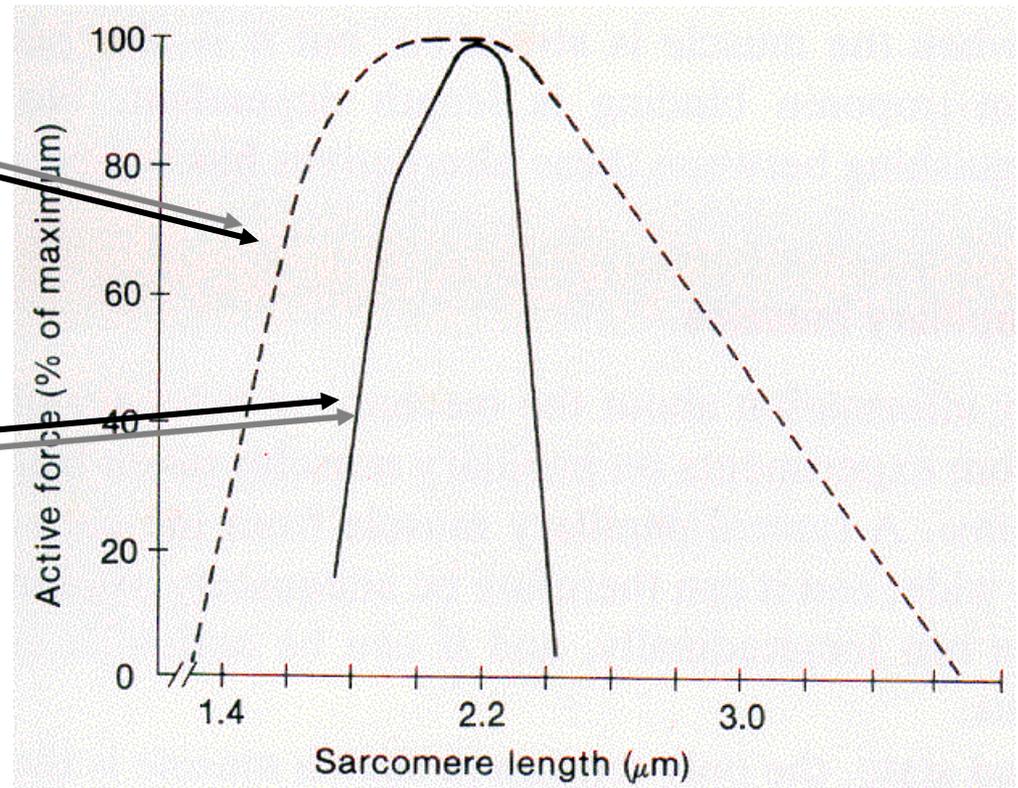
VÁRIOS PROBLEMAS

- a) O que você entende por vasodilatação?
- b) Por que há aumento de fluxo quando há vasodilatação arteriolar numa região?
- c) Por que há diminuição intensa da P.A. se uma grande quantidade de arteríolas sofre vasodilatação?
- d) O que acarreta a vasodilatação? (não é a parede do vaso que expande ...)

TRABALHO CARDÍACO

RELAÇÃO TAMANHO-FORÇA

- Como na musculatura esquelética, há uma clara relação força x comprimento no miocárdio

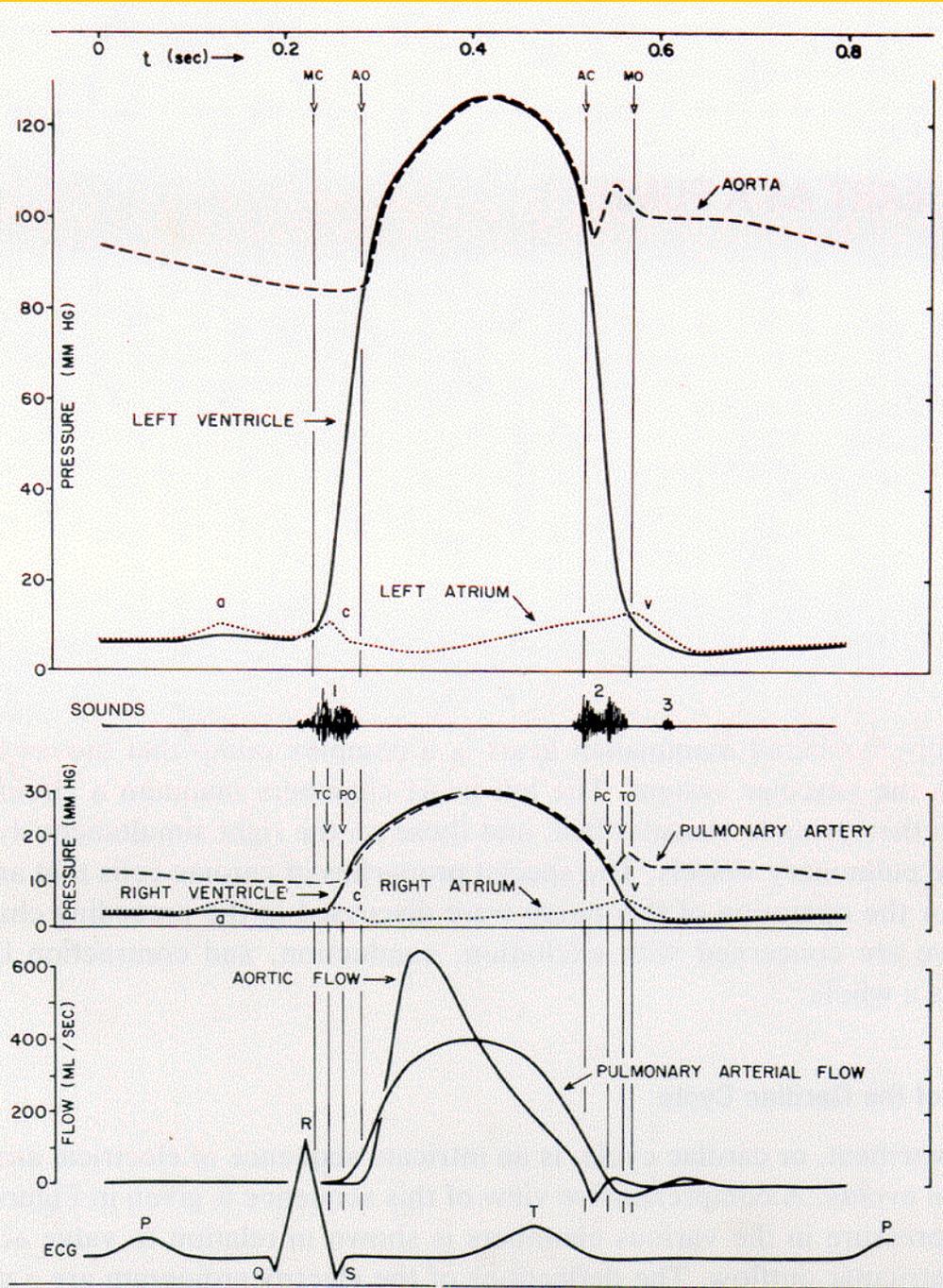


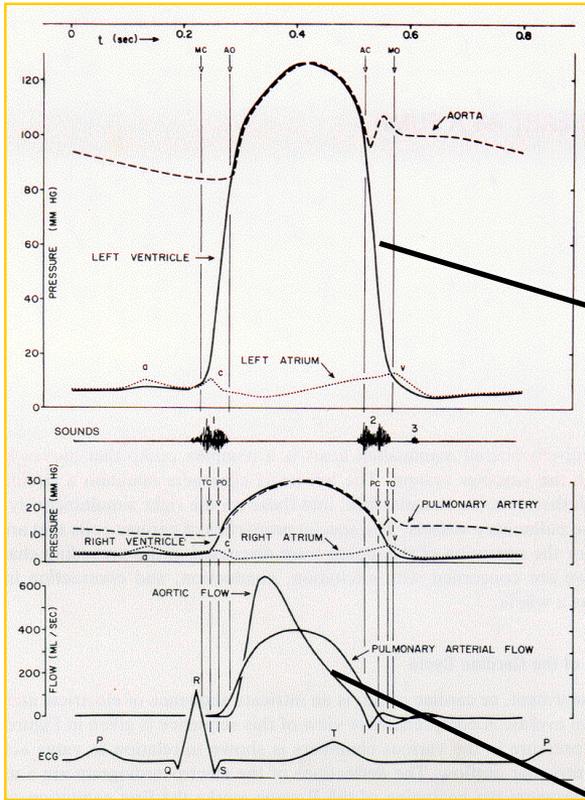
CARGAS DURANTE A CONTRAÇÃO VENTRICULAR

- *Pré-carga*
 - volume ao final da diástole ventricular (após sístole atrial)
 - relaciona-se à pressão diastólica final
 - O chamado *retorno venoso* é responsável pelo enchimento diastólico
- *Pós-carga*
 - é a carga que deve ser vencida pelo ventrículo para ejetar o sangue
 - dependente da
 - viscosidade sanguínea
 - elasticidade arterial
 - velocidade de ejeção
 - relaciona-se, parcialmente, à P.A.M.
 - relaciona-se à impedância arterial

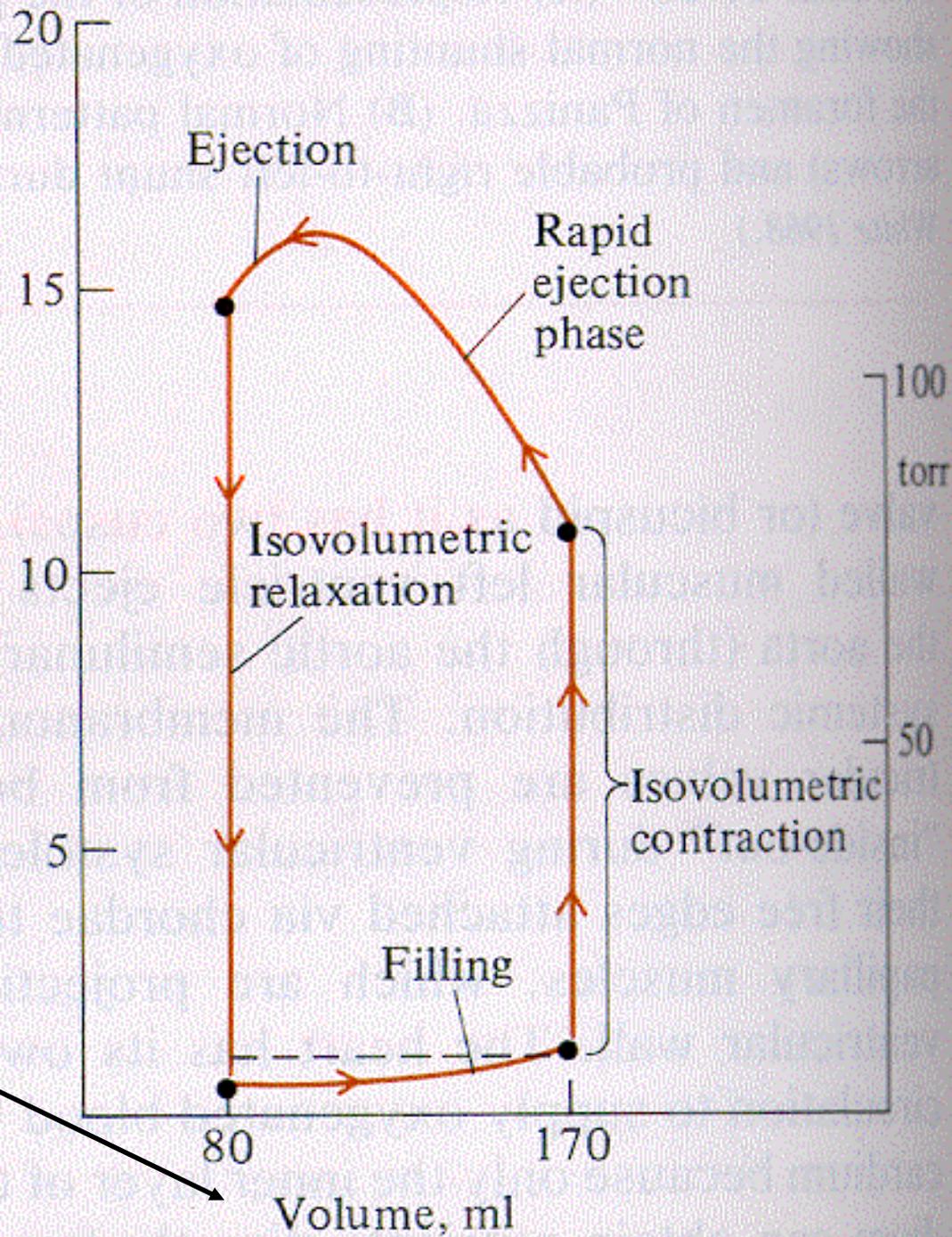
RELAÇÃO PV NO CICLO CARDÍACO

Diagrama de Wiggers





Left Ventricular Pressure (kPa)

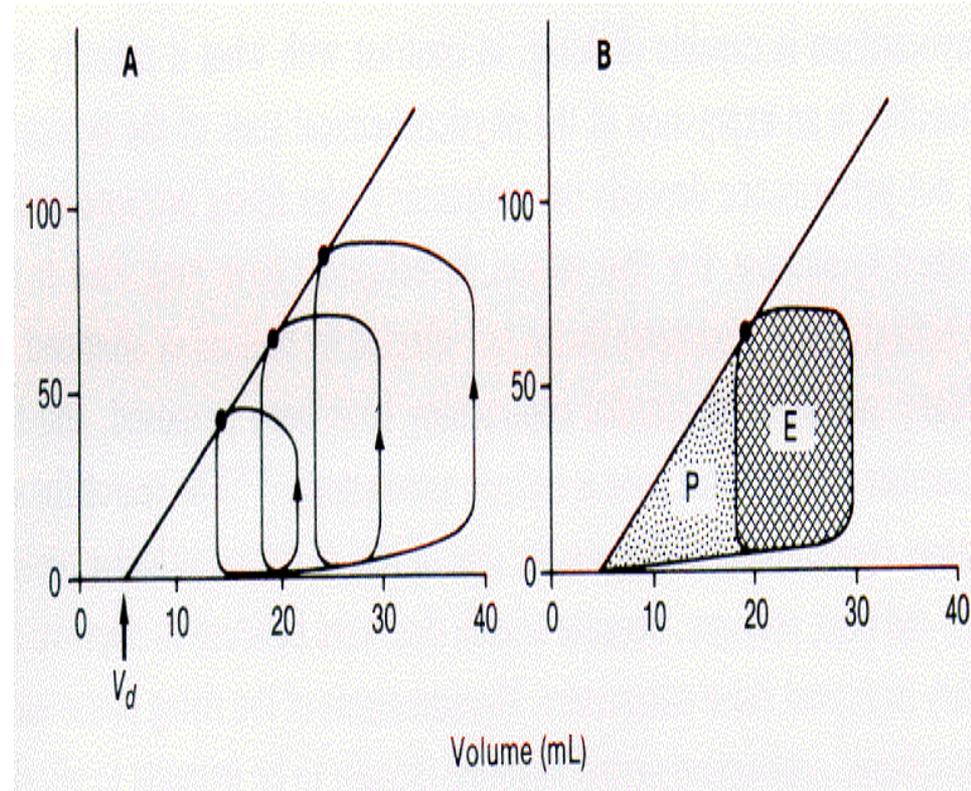


“LEI” DE FRANK-STARLING

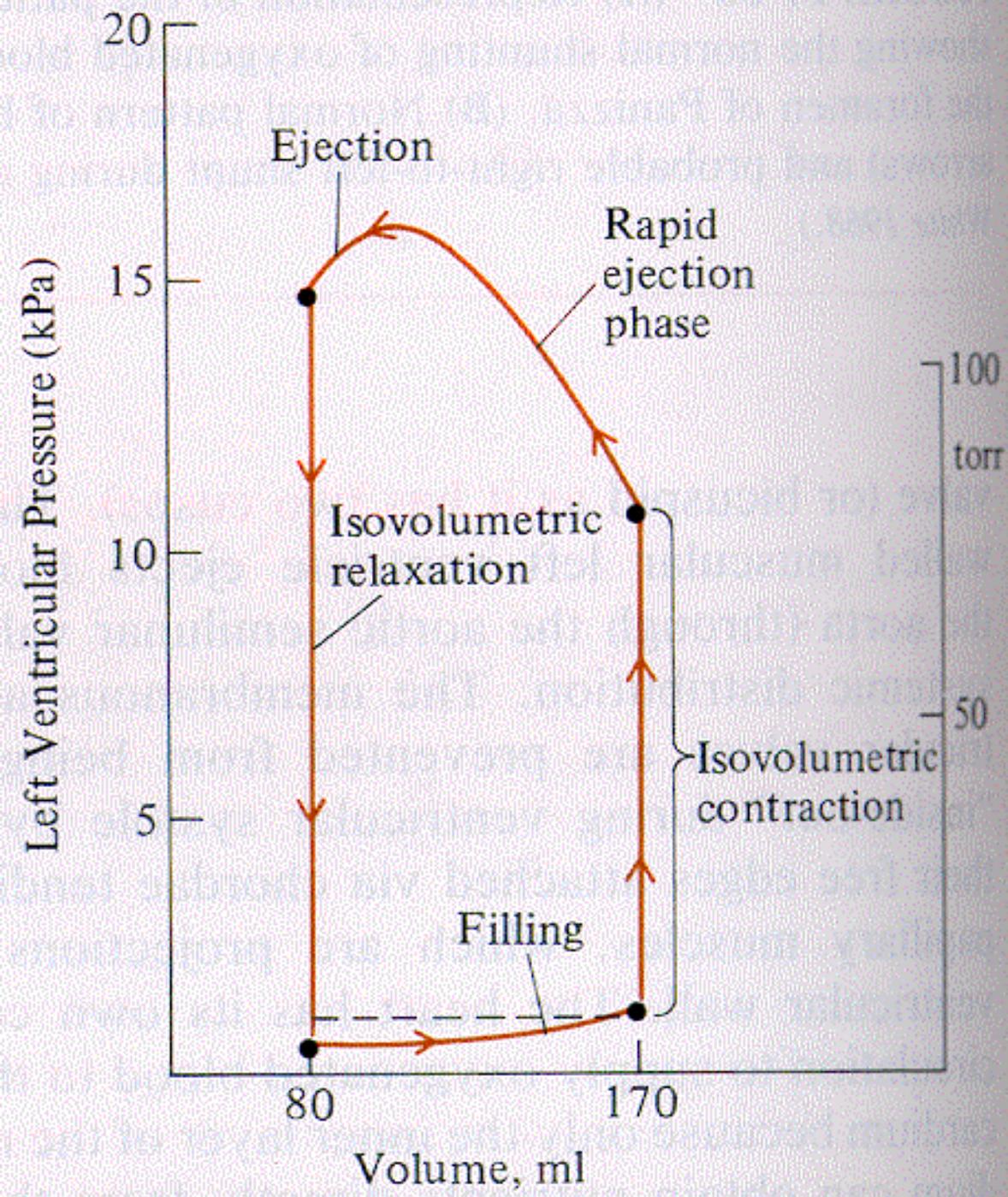
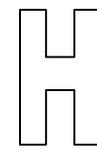
o trabalho ventricular é uma função do comprimento diastólico final das fibras ventriculares

COMPONENTES DO CONSUMO DE OXIGÊNIO CARDÍACO

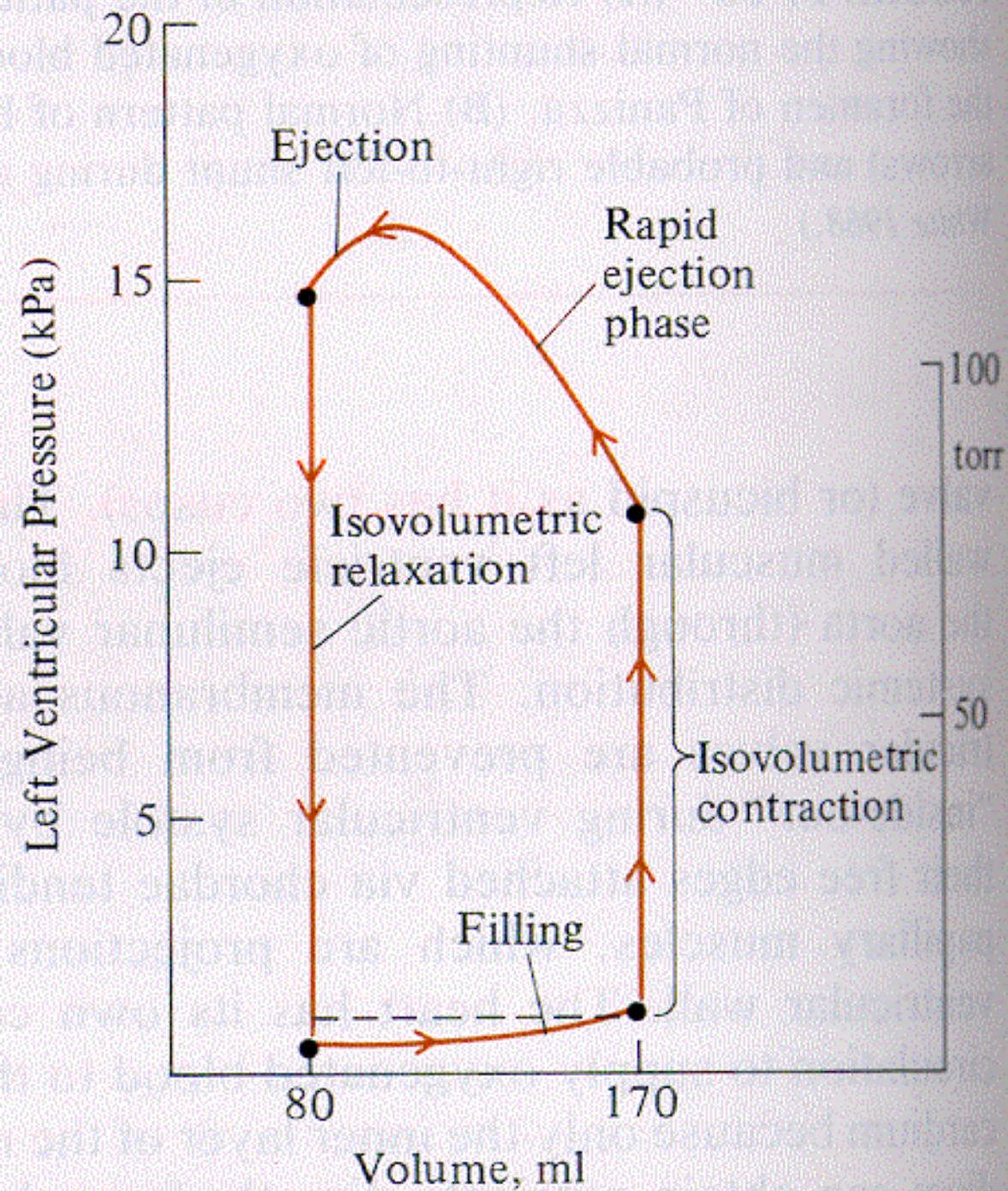
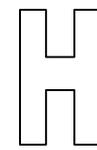
- *trabalho mecânico externo*
 - ✓ $PV + \frac{1}{2}\rho Vu^2$
- *metabolismo basal do miocárdio*
- *energia mecânica potencial*
 - ✓ pressão ventricular após final da ejeção
 - ✓ representa energia elástica acumulada na parede que poderia ser convertida em w_{ext} se P.A. $\rightarrow 0$
- representam 50% consumo
- outros 50% \rightarrow acoplamento E-C e outros processos



CÁLCULO DA VARIAÇÃO DE
ENTALPIA
E DE
ENERGIA CINÉTICA NO CICLO
CARDÍACO



Estimativa da
variação de
entalpia



Estimativa da variação de entalpia (H):

$$dH = dU + PdV + VdP + dPdV$$
$$\Delta H = \int PdV$$

Área aproximada por um retângulo.
Estimativa menor: $9 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \times 13 \times 10^3 \text{ Pa} = 117 \times 10^{-2} = 1.17 \text{ J}$
Estimativa maior: $9 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \times 15 \times 10^3 \text{ Pa} = 135 \times 10^{-2} = 1.35 \text{ J}$

EC

| | área de secção (cm ²) | velocidade (cm/s) | fluxo (cm ³ /s) | volume | |
|---|---|----------------------|-------------------------------|--------------------|-----------|
| | | | | absoluto (ml) | % |
| aorta | 4.5 | 18.5 | 83 | 300/500 | 14 |
| capilar isolado | 3x10⁻⁷ | 0.02 | - | - | - |
| leito capilar (16x10 ⁹ cap) | 4500 | - | 83 | 300 | 6 |
| vênulas e veias | 3x10⁻⁶ / 3 | - | 83 | 2700 / 1000 | 66 |

Cálculo da energia cinética na sístole (considere densidade do sangue = 1), em Kg m/s

EC

| | área de secção (cm ²) | velocidade (cm/s) | fluxo (cm ³ /s) | volume | |
|--|-----------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|-----------|
| | | | | absoluto (ml) | % |
| aorta | 4.5 | 18.5 | 83 | 300/500 | 14 |
| capilar isolado | 3x10⁻⁷ | 0.02 | - | - | - |
| leito capilar (16x10 ⁹ cap) | 4500 | - | 83 | 300 | 6 |
| vênulas e veias | 3x10⁻⁶ / 3 | - | 83 | 2700 / 1000 | 66 |

Cálculo da energia cinética na sístole (considere densidade do sangue = 1), em Kg m/s

Artérias: $\frac{1}{2} 0.500 (18.5 \times 10^{-2})^2 = 86 \times 10^{-4} \text{ J}$

+
Capilares: $\frac{1}{2} 0.300 (2 \times 10^{-4})^2 = 6 \times 10^{-9} \text{ J}$

+
Veias: $\frac{1}{2} 2.7 (28 \times 10^{-2})^2 = 1060 \times 10^{-4} \text{ J}$

Assim, total $\cong 1200 \times 10^{-4} = 0.12 \text{ J}$

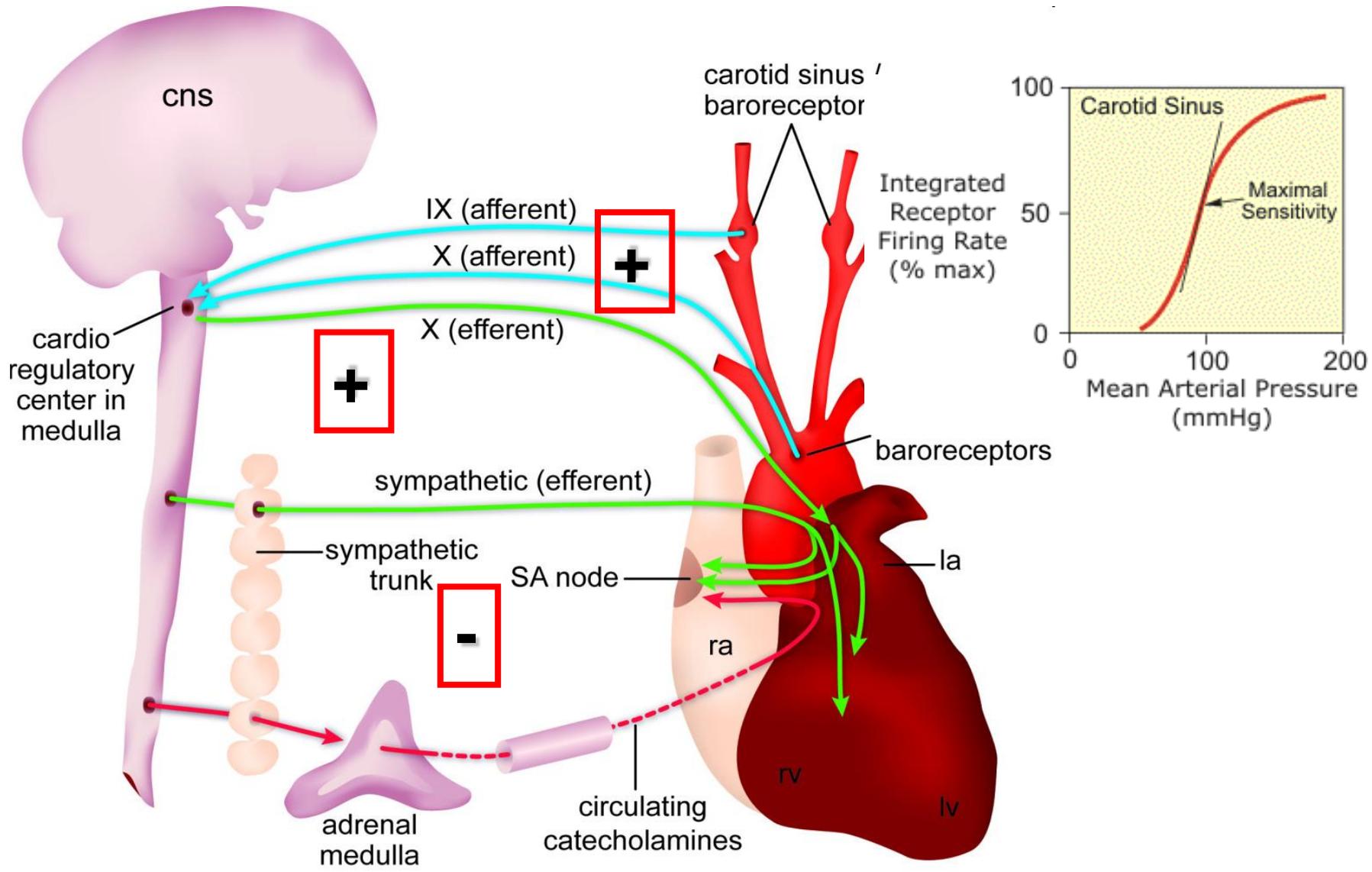
CONCLUSÃO

$$dH = 1.20 \text{ J}$$

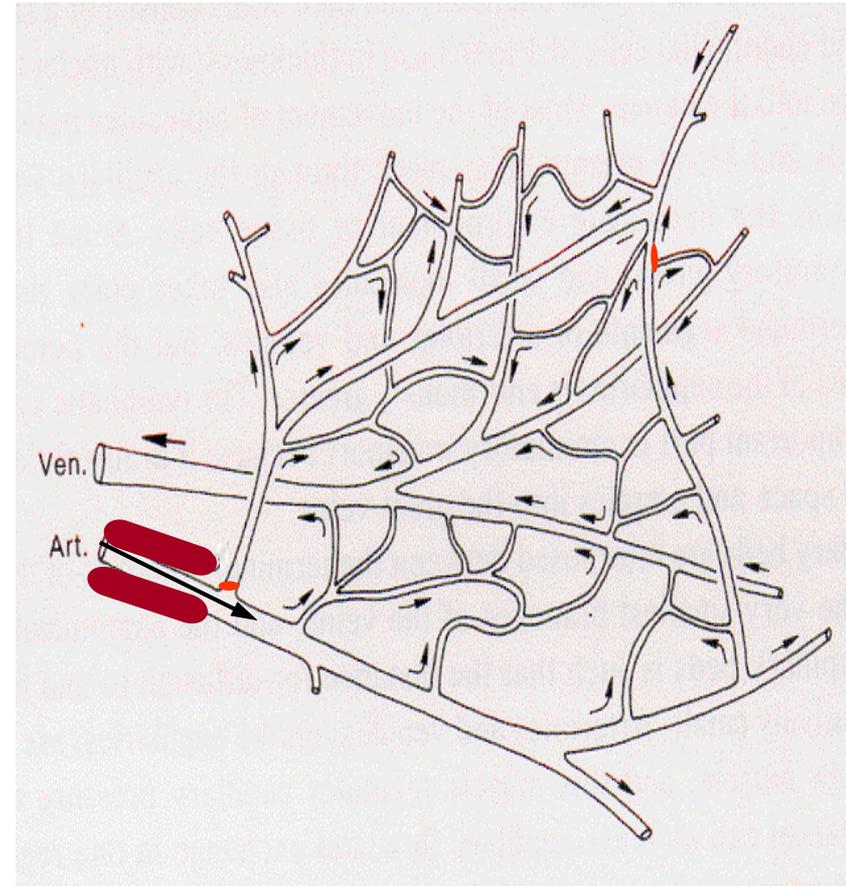
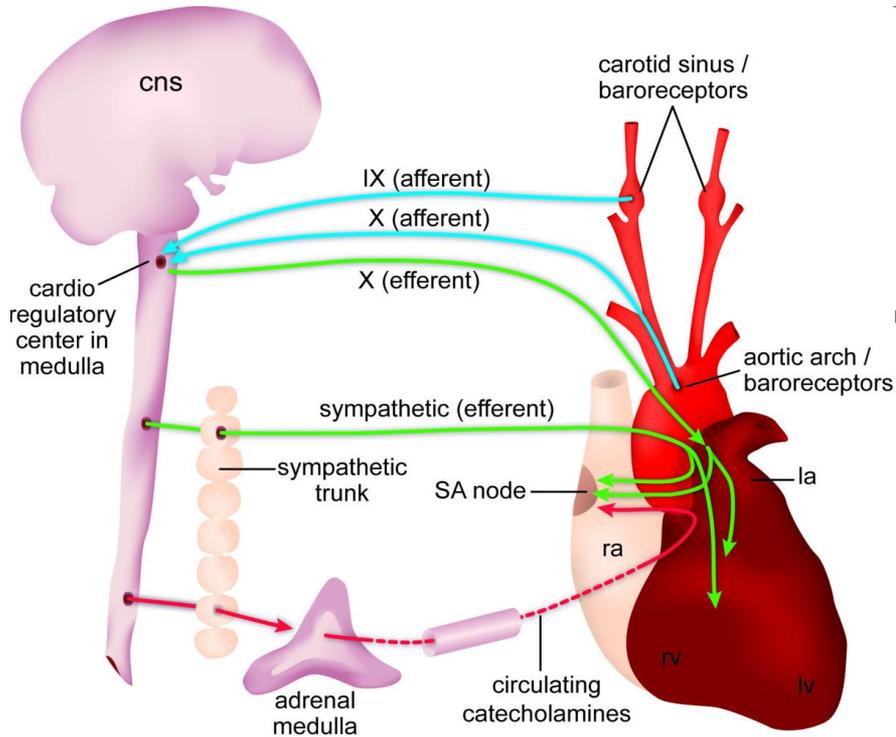
$$\varepsilon_c = 0.12 \text{ J}$$

Logo, o papel do coração é fornecer pressão ("entalpia") para o sistema

CONTROLE GLOBAL: P.A.



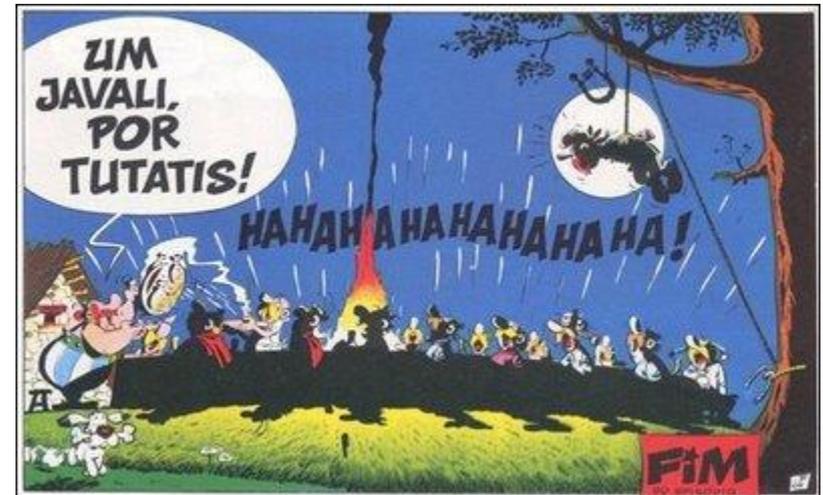
GLOBAL (P.A.) X LOCAL (FLUXO)



UMA VISÃO CARICATURAL



Quem? Quanto? Quando?



Como?

