

## A.03.01 – Trabalho de Fronteira

(Sistemas Fechados)

Prof. C. Naaktgeboren, PhD

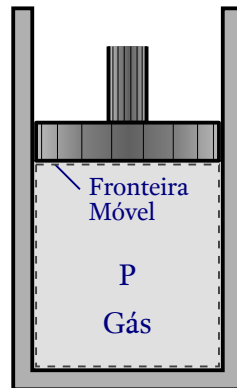
Compiled on 2020-03-27 02h22m37s



### Trabalho de Fronteira – Definição

Trabalho de fronteira,  $W_f$  (kJ)

- É a **interação energética**
- de um **sistema compressível**
- capaz de **diretamente** realizar
- **trabalho mecânico**
- por meio de uma **fronteira móvel**.



### 1 Trabalho de Fronteira

- Qualitativo
- Quantitativo

### 2 Tópicos de Leitura

### Trabalho de Fronteira – Aplicações

Aplicações incluem:

- Motores de combustão interna
- Motores **Stirling**
- Compressores alternativos
- Motores **lineares**
- Elevadores de carga e atuadores
- Expansores **criogênicos**



Image by Schlaich Bergemann und Partner from wikipedia.org



Image by DarkWorkX from pixabay.com

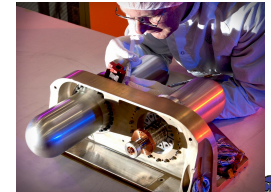


Image by NASA Goddard Space Flight Center from flickr.com

## Trabalho de Fronteira – Diferencial

$$\delta W_f \equiv (|\vec{F}| \cdot |d\vec{\ell}|) \times \frac{A}{A} \rightarrow$$

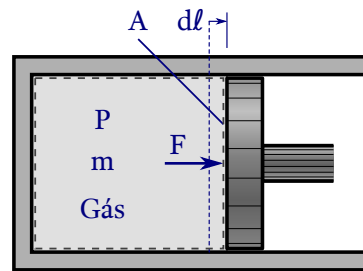
$$\delta W_f = \frac{F}{A} \cdot A d\ell \rightarrow$$

$$\left( \frac{F}{A} \equiv P, \quad A d\ell \equiv dv \right) \rightarrow$$

$$(\delta W_f = P dV) / m \rightarrow$$

$$\delta w_f = P dv$$

$W_f > 0$  quando o sistema **executa** trabalho



## Trabalho de Fronteira – Processo

Processo de **quase-equilíbrio** 1–2:

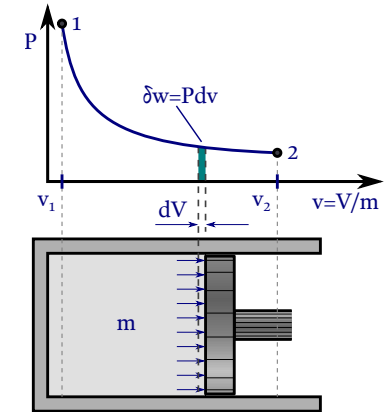
$$\delta w_f = P dv$$

$$\left( w_{12} = \int_1^2 \delta w_f = \int_1^2 P dv \right) \times m \rightarrow$$

$$W_{12} = \int_1^2 \delta W_f = \int_1^2 P dV \quad \therefore$$

$W_f$  é a **área** sob o processo em **coordenadas  $P - V$** .

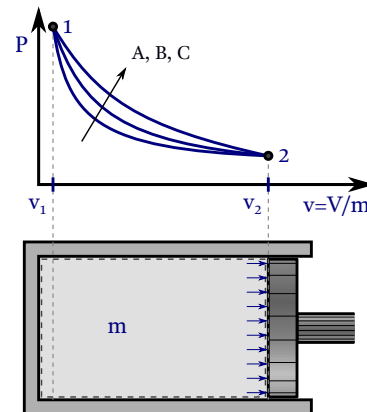
$w_f$  é a **área** sob o processo em **coordenadas  $P - v$** .



## Trabalho de Fronteira – Caminho

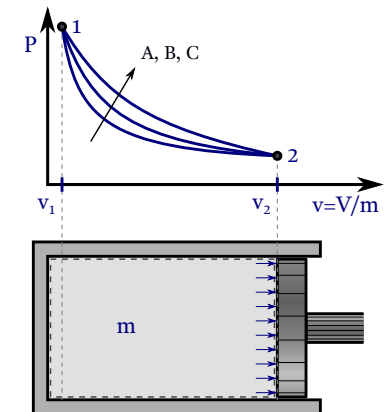
Trabalho de fronteira,  $w_f$  ou  $W_f$ :

- Depende do **caminho** 1–2
- $\int_1^2 \delta w_f = w_{12} \neq "w_2" - "w_1"$
- A **diferença** entre caminhos é determinada pelas demais interações de energia durante o processo 1–2
- Em **sistemas compressíveis simples**, o **calor** é a única outra interação de energia.



## Trabalho de Fronteira – Ciclo

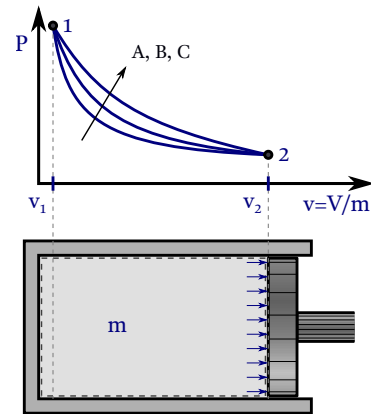
- A dependência do caminho permite que um sistema executando um vai-vém (**ciclo mecânico**) possa tanto (i) produzir ou (ii) consumir uma quantidade **líquida** de trabalho.
- Basta escolher os caminhos de ida e volta no processo termodinâmico.
- Se os **estados** periodicamente visitados pelo sistema forem **os mesmos**, o sistema estará executando um **ciclo termodinâmico**.



## Trabalho de Fronteira – Ciclo

Ciclo 1–2 via ‘C’ e 2–1 via ‘A’:

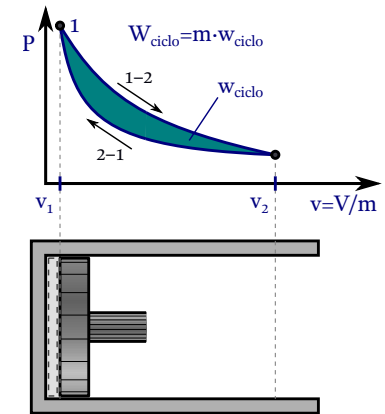
- Ciclo **motor**, que **produz**  $W_{liq}$
- $W_{acum}$  mostrado sob os processos
- Exp. 1–2 **produz** trabalho  
 $W_{12} > 0$
- Retorno ao estado 1 requer **consumo** de trabalho
- Compr. 2–1 **produz** trabalho  
 $W_{21} < 0$
- $W_{ciclo} = (W_{12} + W_{21}) > 0$  é igual à **área do ciclo** em **coordenadas**  $P - V$ .



## Trabalho de Fronteira – Ciclo

Ciclo 1–2 via ‘C’ e 2–1 via ‘A’:

- Ciclo **motor**, que **produz**  $W_{liq}$
- $W_{acum}$  mostrado sob os processos
- Exp. 1–2 **produz** trabalho  
 $W_{12} > 0$
- Retorno ao estado 1 requer **consumo** de trabalho
- Compr. 2–1 **produz** trabalho  
 $W_{21} < 0$
- $W_{ciclo} = (W_{12} + W_{21}) > 0$  é igual à **área do ciclo** em **coordenadas**  $P - V$ .



## Tópicos de Leitura I



Çengel, Y. A. e Boles, M. A.

Termodinâmica 7ª Edição. Seção 4-1.

AMGH. Porto Alegre. ISBN 978-85-8055-200-3.

