

A.03.01 – Trabalho de Fronteira (Sistemas Fechados)

Prof. C. Naaktgeboren, PhD



<https://github.com/CNThermSci/ApplThermSci>

Compiled on 2020-09-10 20h25m10s UTC

Sumário da Parte I

Apresentação do Trabalho de Fronteira

Definição

Aplicações

Tópicos de Leitura

Sumário da Parte II

Quantificação do Trabalho de Fronteira

Trabalho de Fronteira De Processo

Trabalho de Fronteira de Ciclo

Tópicos de Leitura

Parte I

Apresentação do Trabalho de Fronteira

Trabalho de Fronteira – Aplicações

Aplicações incluem:

- ▶ Motores de combustão interna
- ▶ Motores **Stirling**



Image by Schlaich Bergemann und Partner from wikipedia.org

Trabalho de Fronteira – Aplicações

Aplicações incluem:

- ▶ Compressores alternativos
- ▶ Motores **lineares**



Image by DarkWorkX from pixabay.com

Trabalho de Fronteira – Aplicações

Aplicações incluem:

- ▶ Elevadores de carga e atuadores
- ▶ Expansores **criogênicos**

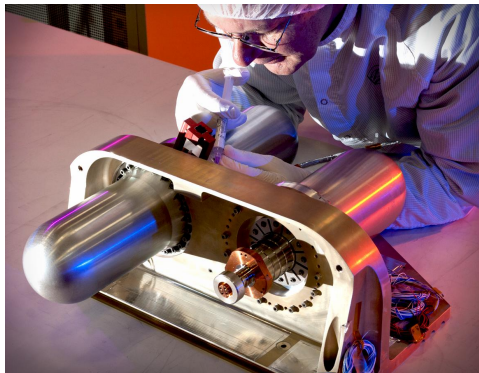


Image by NASA Goddard Space Flight Center from flickr.com

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.



Photo by Nick Bondarev from Pexels

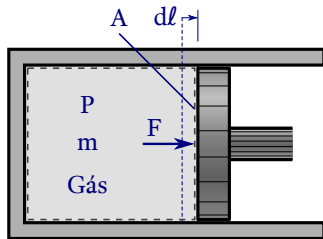
Parte II

Quantificação do Trabalho de Fronteira

Trabalho de Fronteira – Diferencial

$$\delta W_f \equiv \vec{F} \cdot d\vec{\ell}$$

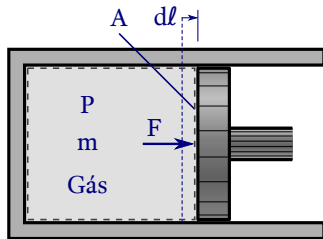
$W_f > 0$ quando o **sistema executa** trabalho



Trabalho de Fronteira – Diferencial

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

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

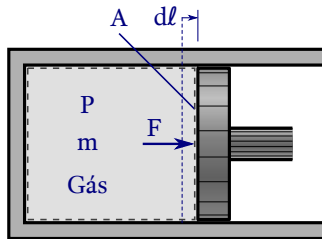


Trabalho de Fronteira – Diferencial

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

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

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



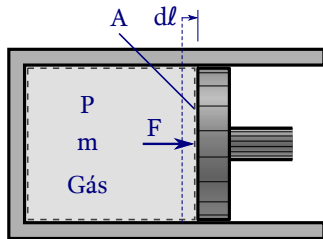
Trabalho de Fronteira – Diferencial

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

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

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

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



Trabalho de Fronteira – Diferencial

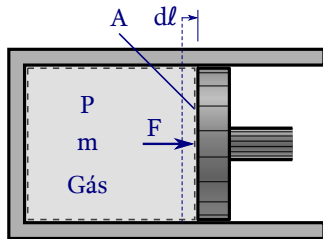
$$\delta W_f \equiv (|\vec{F}| \cdot |d\vec{\ell}|) \times \frac{A}{A} \rightarrow$$

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

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

$$\delta W_f = P dV$$

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



Trabalho de Fronteira – Diferencial

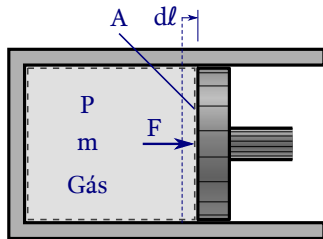
$$\delta W_f \equiv (|\vec{F}| \cdot |d\vec{\ell}|) \times \frac{A}{A} \rightarrow$$

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

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

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

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



Trabalho de Fronteira – Diferencial

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

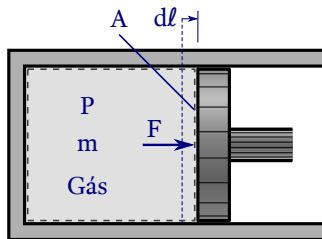
$$\delta W_f = \frac{F}{A} \cdot A d\ell \rightarrow$$

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

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

$$\delta w_f = P dv$$

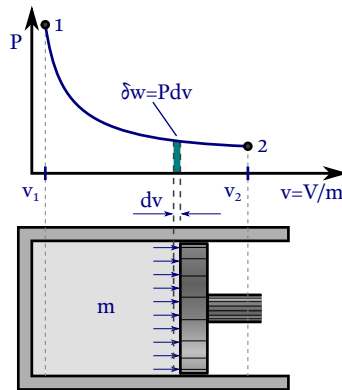
$W_f > 0$ quando o **sistema executa** trabalho



Trabalho de Fronteira – Processo

Processo de **quase-equilíbrio** 1–2:

$$\delta w_f = P dv$$

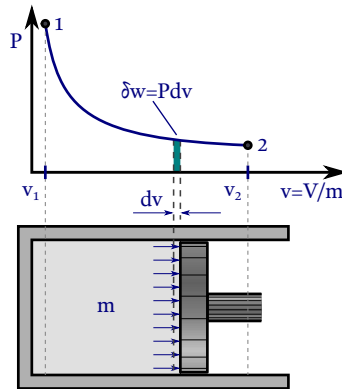


Trabalho de Fronteira – Processo

Processo de **quase-equilíbrio** 1–2:

$$\delta w_f = P dv$$

$$w_{12} = \int_1^2 \delta w_f = \int_1^2 P dv$$

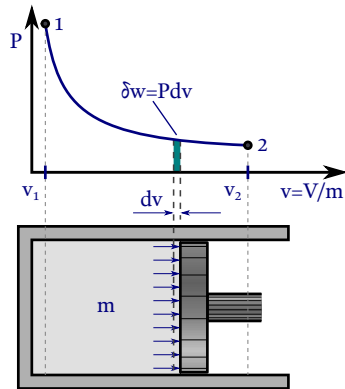


Trabalho de Fronteira – Processo

Processo de **quase-equilíbrio** 1–2:

$$\delta w_f = P dv$$

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



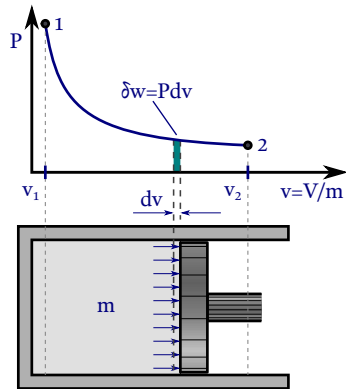
Trabalho de Fronteira – Processo

Processo de **quase-equilíbrio** 1–2:

$$\delta w_f = P dv$$

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

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



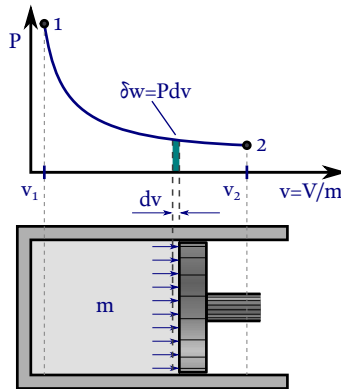
Trabalho de Fronteira – Processo

Processo de **quase-equilíbrio** 1–2:

$$\delta w_f = P dv$$

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

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



Trabalho de Fronteira – Processo

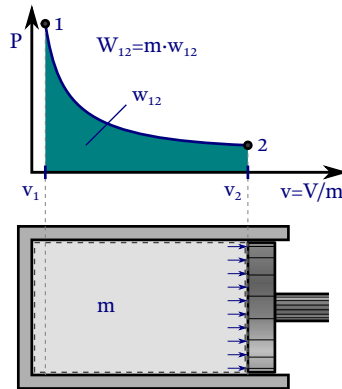
Processo de **quase-equilíbrio** 1–2:

$$\delta w_f = P dv$$

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

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

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



Trabalho de Fronteira – Processo

Processo de **quase-equilíbrio** 1–2:

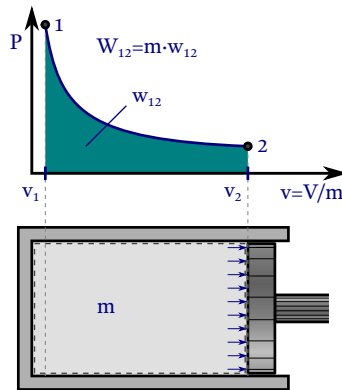
$$\delta w_f = P dv$$

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

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

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

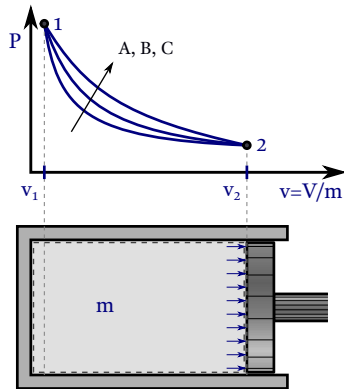
w_f é a **área** sob o processo em **coordenadas** **$P - v$** .



Trabalho de Fronteira – Caminho

Trabalho de fronteira, w_f ou W_f :

- Depende do **caminho 1–2**

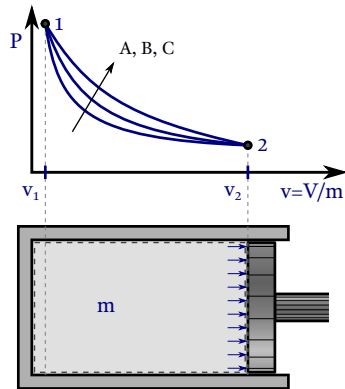


Trabalho de Fronteira – Caminho

Trabalho de fronteira, w_f ou W_f :

► Depende do **caminho 1–2**

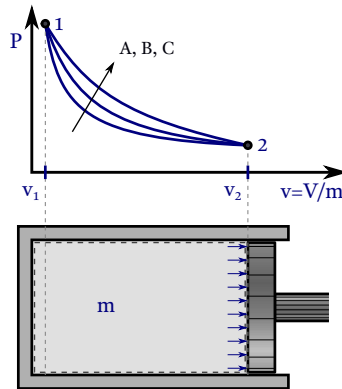
► $\int_1^2 \delta w_f = w_{12}$



Trabalho de Fronteira – Caminho

Trabalho de fronteira, w_f ou W_f :

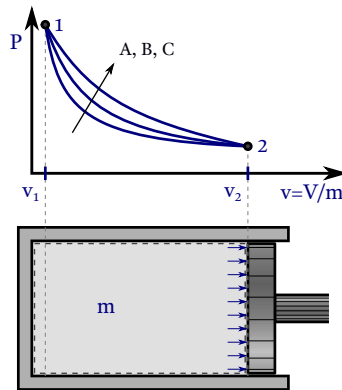
- ▶ Depende do **caminho 1-2**
- ▶ $\int_1^2 \delta w_f = w_{12} \neq "w_2" - "w_1"$



Trabalho de Fronteira – Caminho

Trabalho de fronteira, w_f ou W_f :

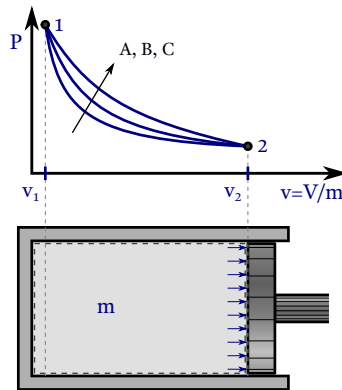
- ▶ Depende do **caminho 1–2**
- ▶ $\int_1^2 \delta w_f = w_{12} \neq "w_2" - "w_1"$
- ▶ A **diferença** entre caminhos é determinada pelas demais interações de energia durante o processo 1–2



Trabalho de Fronteira – Caminho

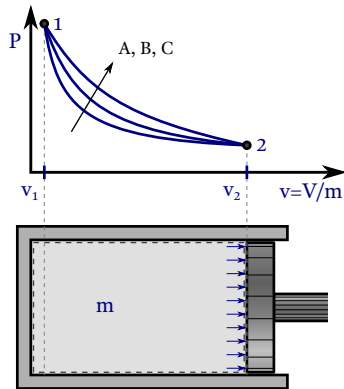
Trabalho de fronteira, w_f ou W_f :

- ▶ 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.



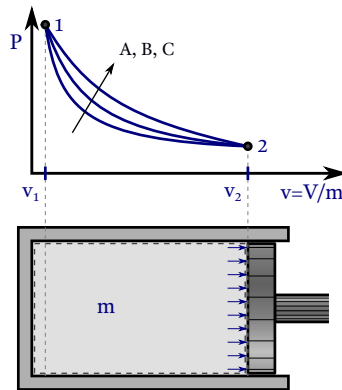
Trabalho de Fronteira – Ciclo

- ▶ 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.



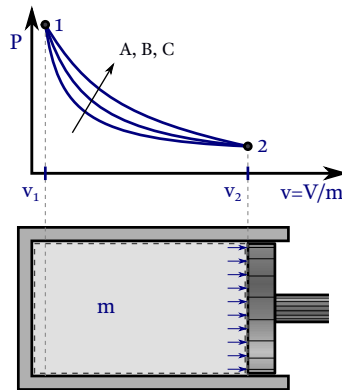
Trabalho de Fronteira – Ciclo

- ▶ 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.



Trabalho de Fronteira – Ciclo

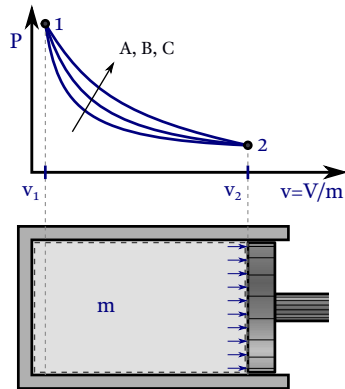
- ▶ A dependência do caminho permite que um sistema executando um vai-vém (**ciclo mecânico**) possa tanto (i) produzir ou (ii) consumir uma quantidade **líquida** de trabalho.
- ▶ Basta escolher os caminhos de ida e volta no processo termodinâmico.
- ▶ Se os **estados** periodicamente visitados pelo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

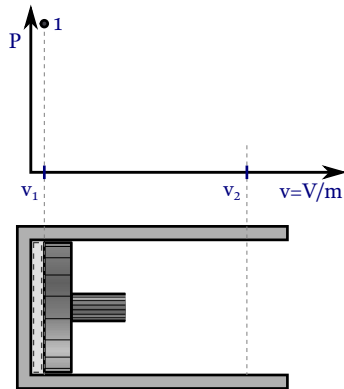
- Ciclo **motor**, que **produz** W_{liq}



Trabalho de Fronteira – Ciclo

Ciclo 1–2 via 'C' e 2–1 via 'A':

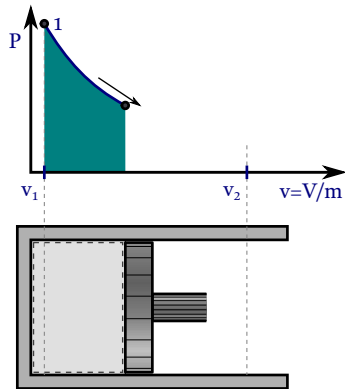
- ▶ Ciclo **motor**, que **produz** W_{liq}
- ▶ W_{acum} mostrado sob os processos



Trabalho de Fronteira – Ciclo

Ciclo 1–2 via 'C' e 2–1 via 'A':

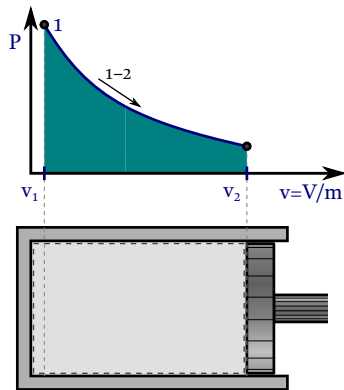
- ▶ Ciclo **motor**, que **produz** W_{liq}
- ▶ W_{acum} mostrado sob os processos
- ▶ Exp. 1–2 **produz** trabalho $W_{12} > 0$



Trabalho de Fronteira – Ciclo

Ciclo 1–2 via 'C' e 2–1 via 'A':

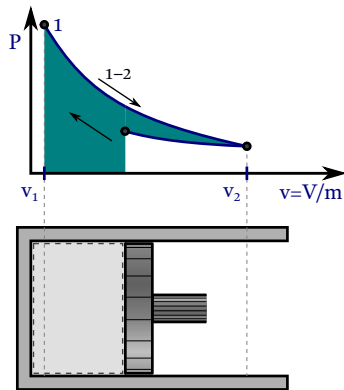
- ▶ Ciclo **motor**, que **produz** W_{liq}
- ▶ W_{acum} mostrado sob os processos
- ▶ Exp. 1–2 **produz** trabalho $W_{12} > 0$
- ▶ Retorno ao estado 1 requer **consumo** de trabalho



Trabalho de Fronteira – Ciclo

Ciclo 1–2 via 'C' e 2–1 via 'A':

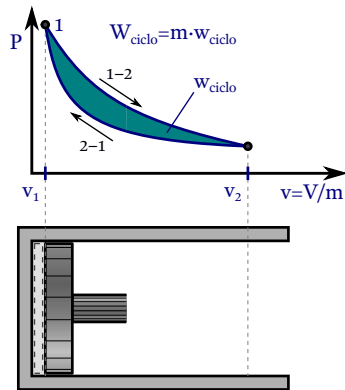
- ▶ Ciclo **motor**, que **produz** W_{liq}
- ▶ W_{acum} mostrado sob os processos
- ▶ Exp. 1–2 **produz** trabalho $W_{12} > 0$
- ▶ Retorno ao estado 1 requer **consumo** de trabalho
- ▶ Compr. 2–1 **produz** trabalho $W_{21} < 0$



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 7^a Edição. Seção 4-1.

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

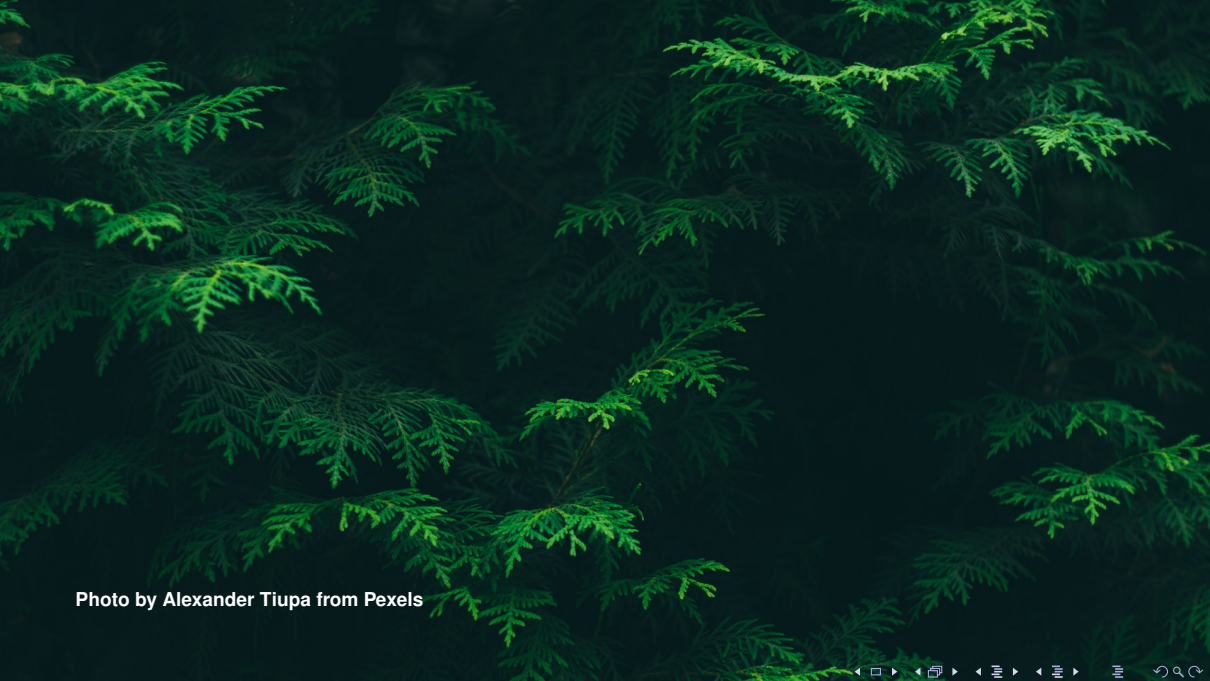


Photo by Alexander Tiupa from Pexels