



**ENCONTRO**  
SUL-AMERICANO  

---

DE USUÁRIOS MAGMA

**User Group Meeting MAGMA 2025**

29 e 30 de Maio de 2025 | Ribeirão Preto - SP

# User Group Meeting MAGMA 2025

O processo de fundição por baixa pressão (LPDC)

Felipe Cebukin



Ribeirão Preto - SP

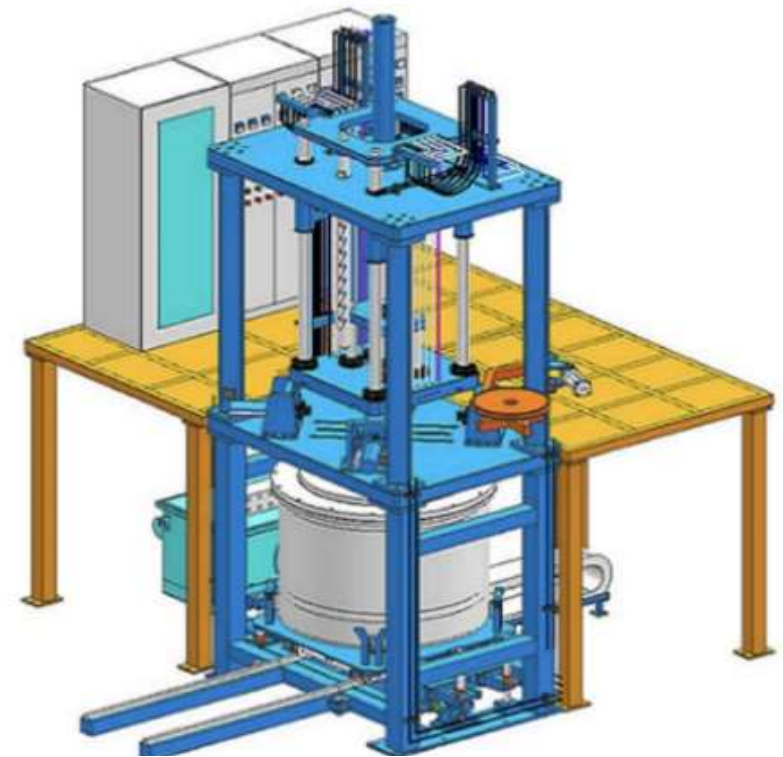
29 e 30 de Maio de 2025

**MAGMA**

# INTRODUÇÃO

## O processo de fundição em baixa pressão (LPDC)

- Processo compreende a pressurização de um forno de forma a forçar o encaminhamento de metal do forno para um molde metálico posicionado acima do mesmo através de um tubo pescador.

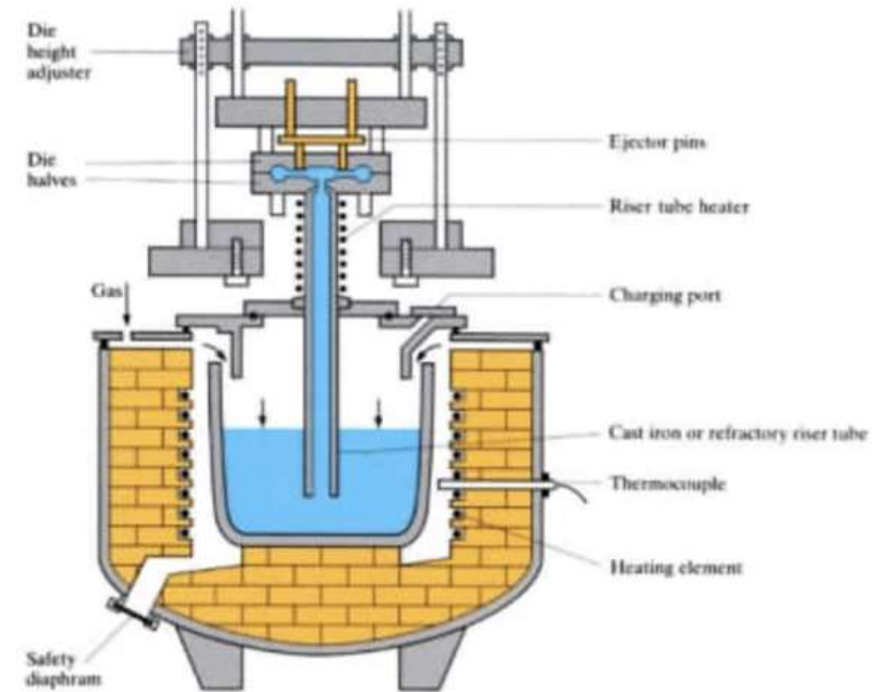


Fonte: <https://www.zintilon.com/wp-content/uploads/2023/12/Low-pressure-die-casting-machine-1024x461.png>

# INTRODUÇÃO

## O processo de fundição em baixa pressão (LPDC)

- Processo compreende a pressurização de um forno de forma a forçar o encaminhamento de metal do forno para um molde metálico posicionado acima do mesmo através de um tubo pescador.

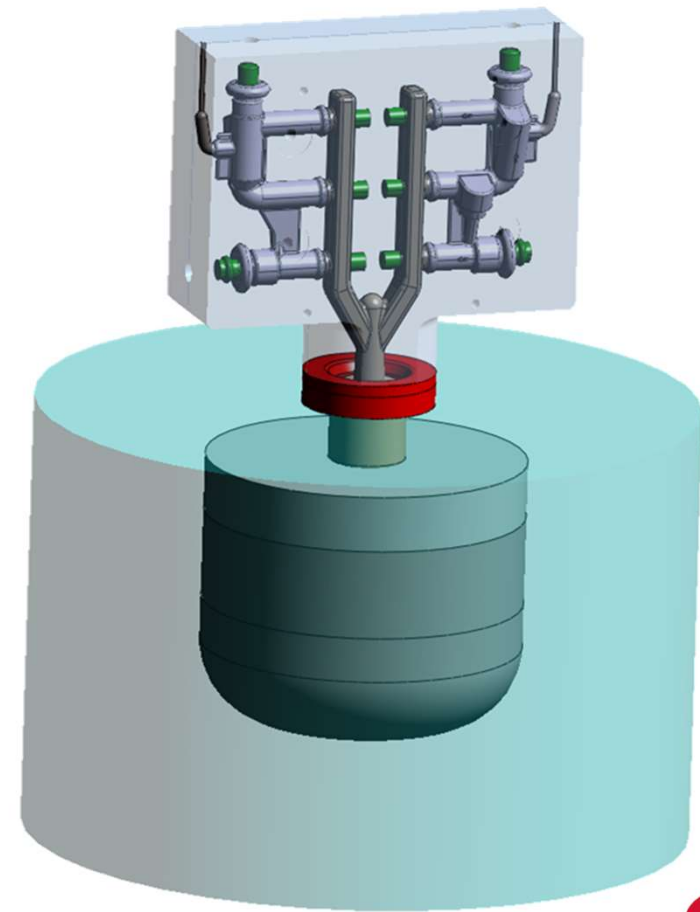


Fonte: <https://www.zintilon.com/wp-content/uploads/2023/12/A-low-pressure-die-casting-setup-1024x497.png>

# INTRODUÇÃO

## O processo de fundição em baixa pressão (LPDC)

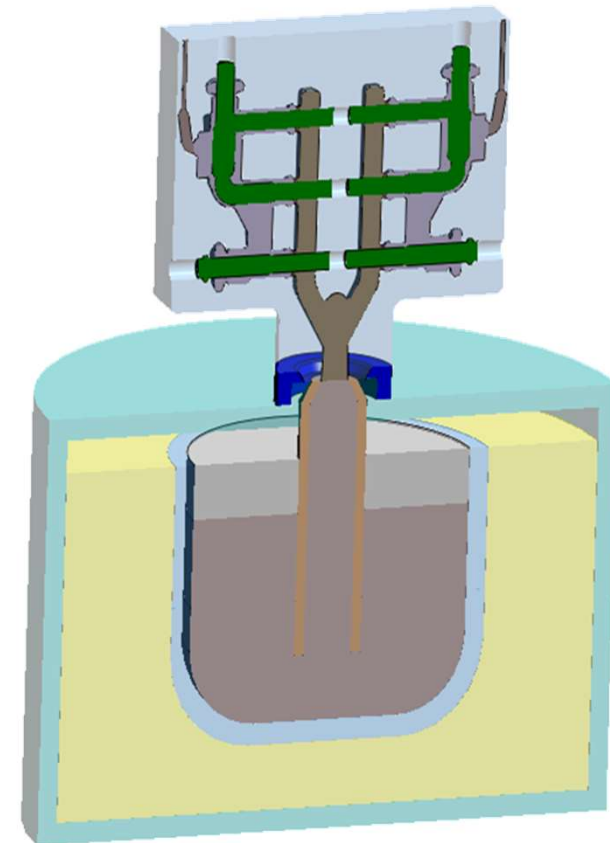
- Processo compreende a pressurização de um forno de forma a forçar o encaminhamento de metal do forno para um molde metálico posicionado acima do mesmo através de um tubo pescador.



# INTRODUÇÃO

## O processo de fundição em baixa pressão (LPDC)

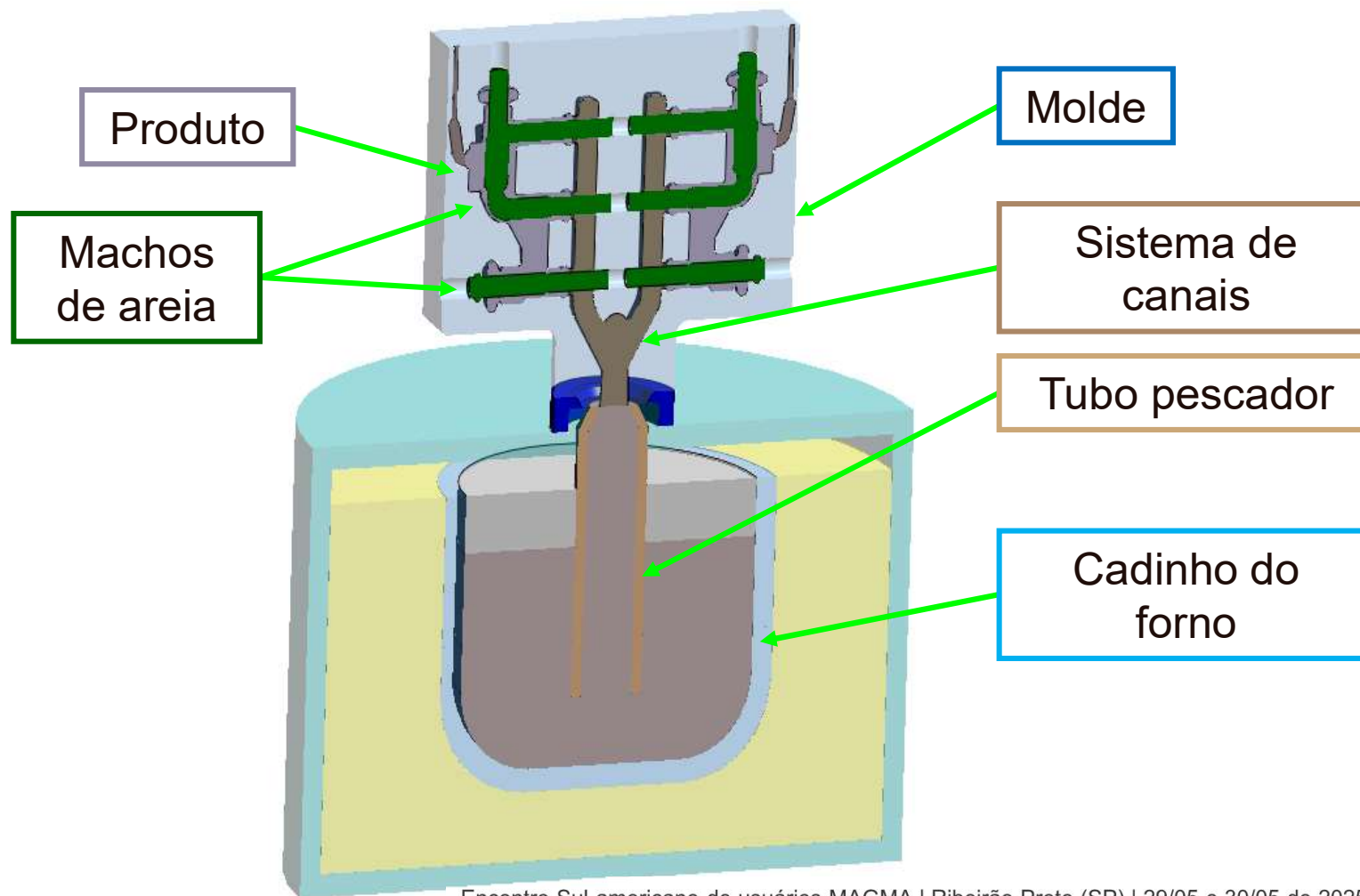
- Processo compreende a pressurização de um forno de forma a forçar o encaminhamento de metal do forno para um molde metálico posicionado acima do mesmo através de um tubo pescador.





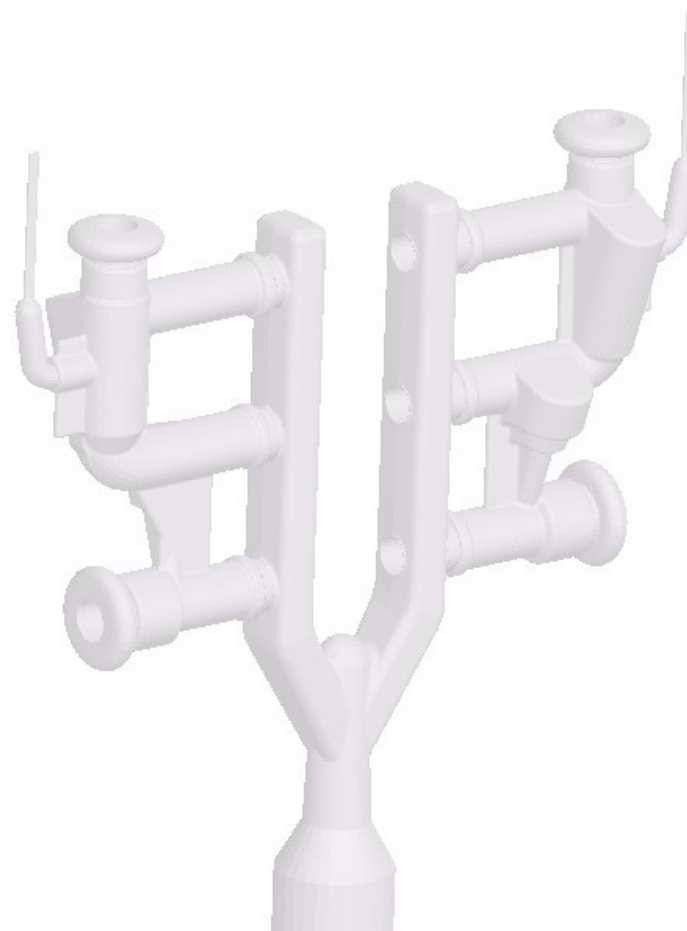
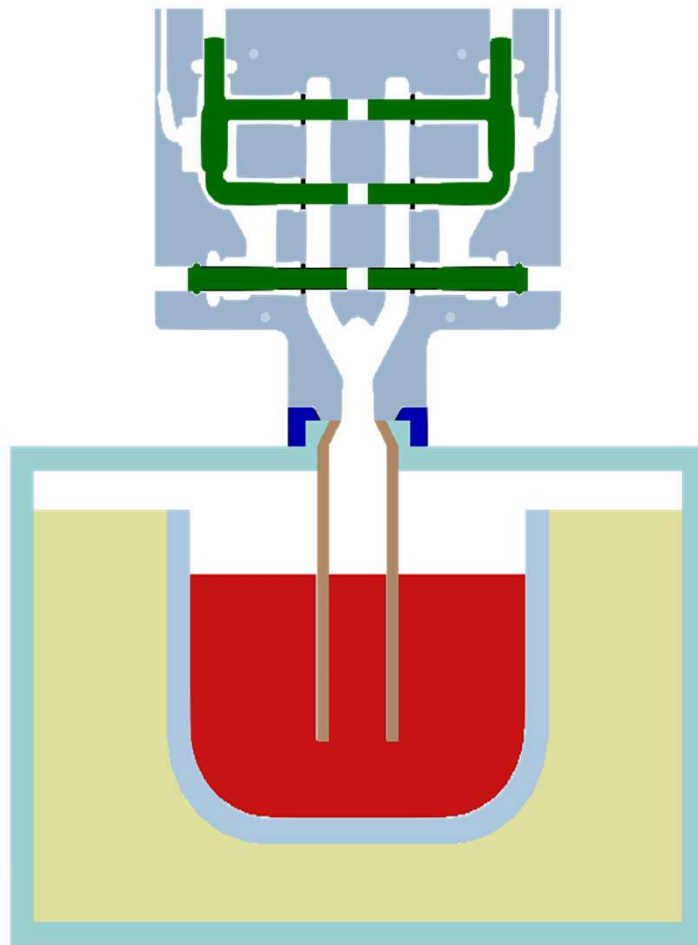
# INTRODUÇÃO

## O processo de fundição em baixa pressão (LPDC)



# INTRODUÇÃO

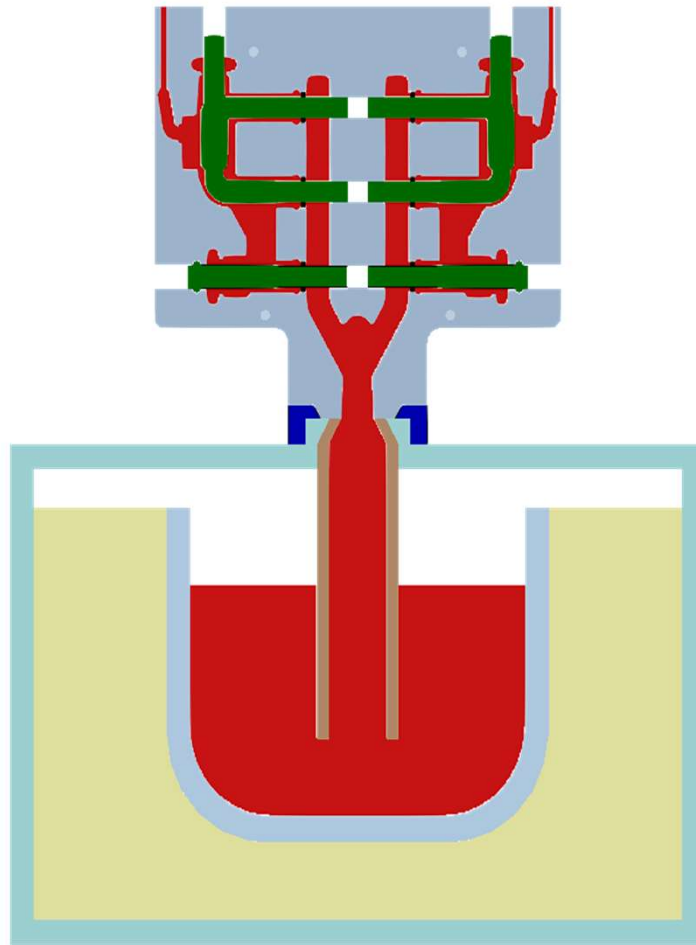
## O processo de fundição em baixa pres





# INTRODUÇÃO

## O processo de fundição em baixa pressão (LPDC)



O que controla o  
preenchimento da  
cavidade?

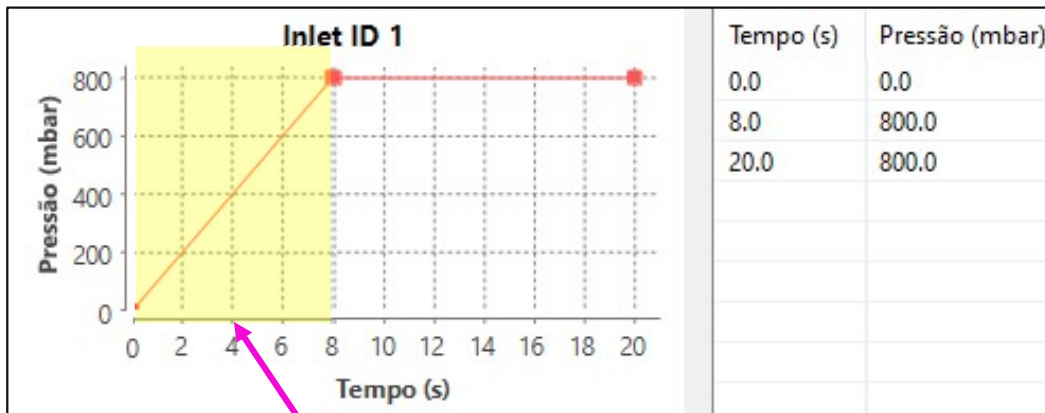
A curva de pressão!

# Curva de pressão

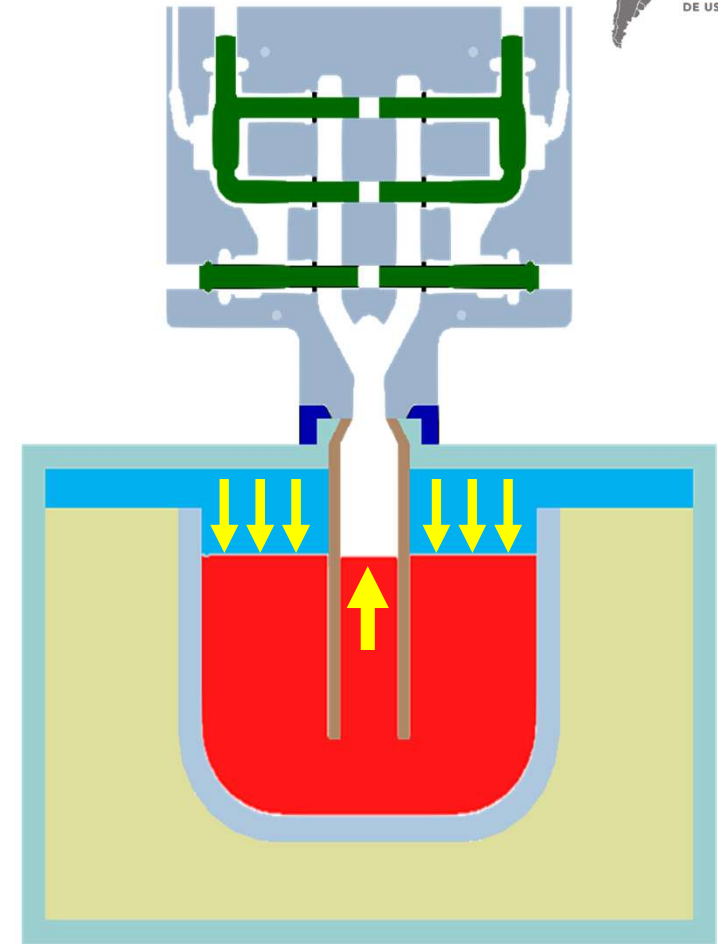
# CURVA DE PRESSÃO

## Controle do enchimento

- A curva de pressão define a pressurização do forno para realizar o enchimento e posteriormente a compactação durante a solidificação.



Enchimento



# CURVA DE PRESSÃO

## Balanço de pressões

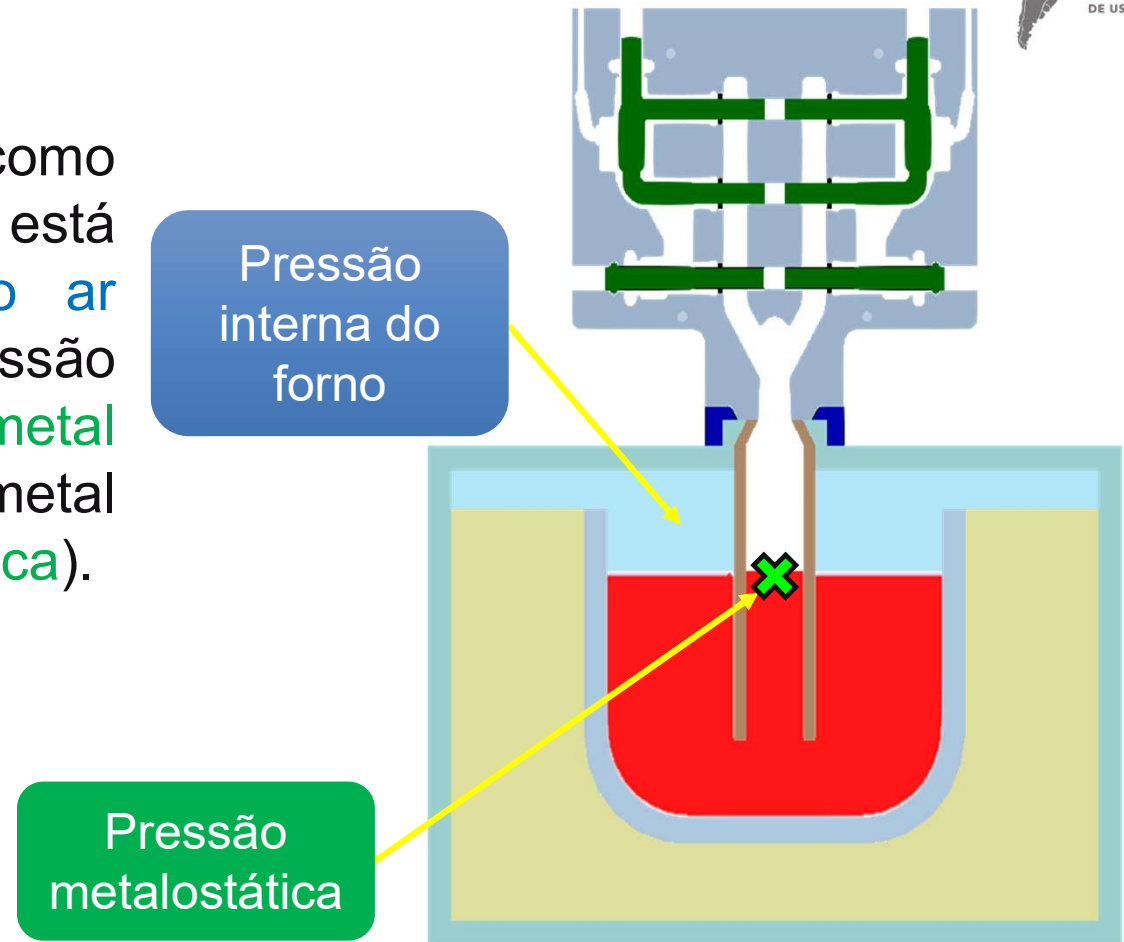
- A pressão do forno atua como uma **balança**, onde se está equilibrando a **pressão do ar dentro do forno** com a pressão exercida pela **massa de metal erguido** acima do nível do metal no forno (**pressão metalostática**).



# CURVA DE PRESSÃO

## Balanco de pressões

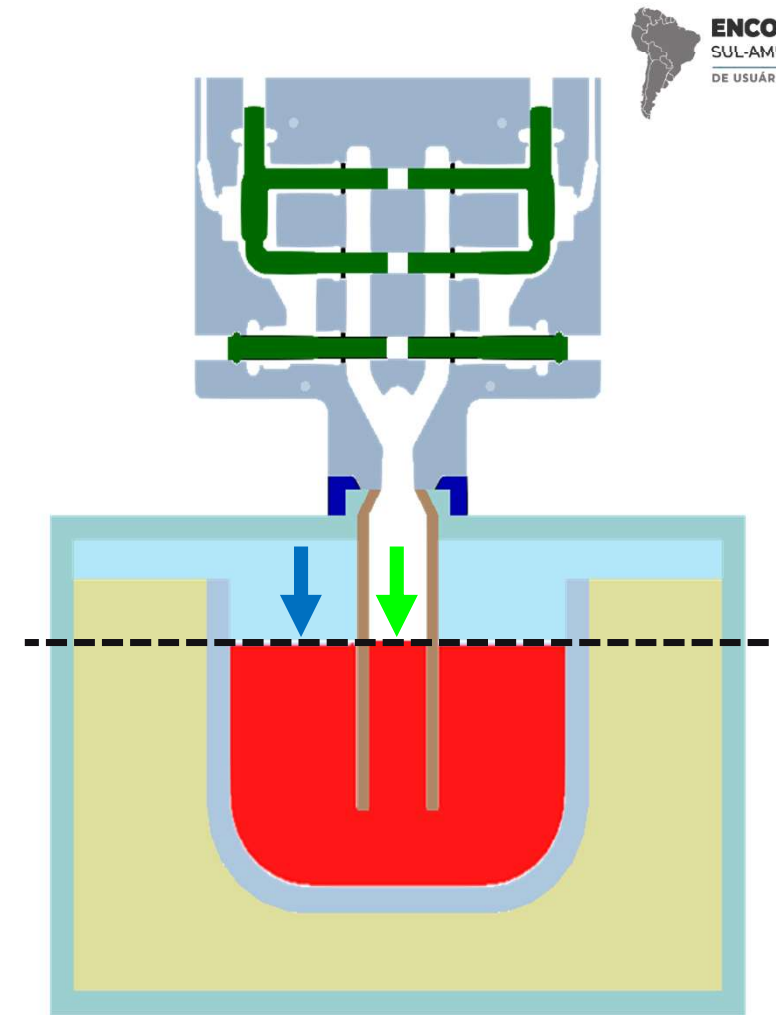
- A pressão do forno atua como uma **balança**, onde se está equilibrando a **pressão do ar dentro do forno** com a pressão exercida pela **massa de metal erguido** acima do nível do metal no forno (**pressão metalostática**).



# CURVA DE PRESSÃO

## Balanço de pressões

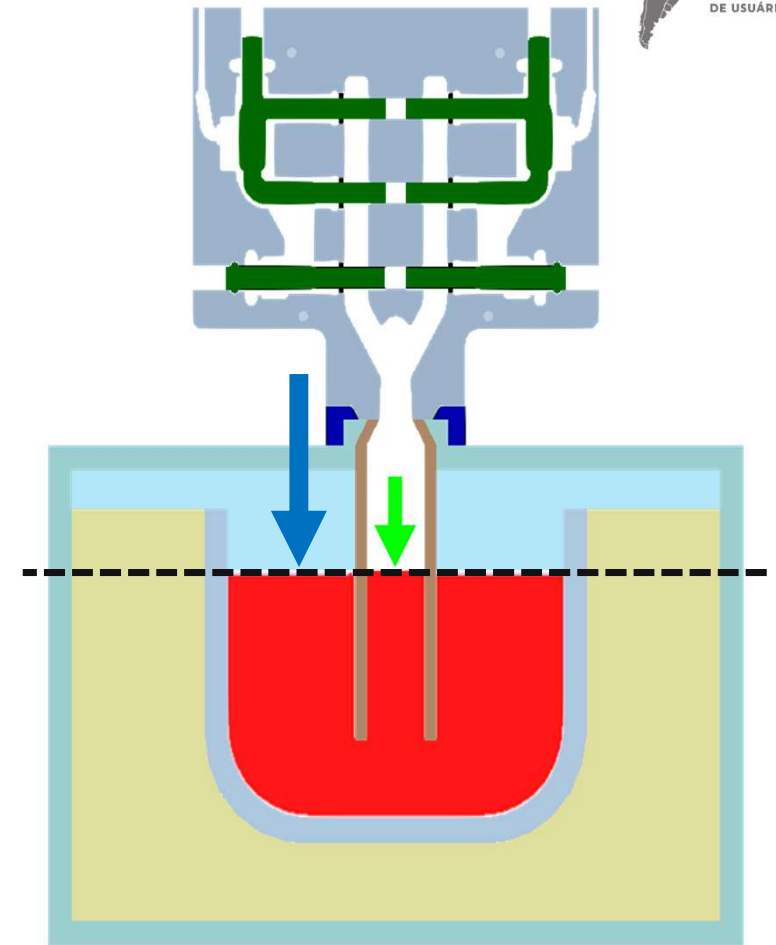
- Se a pressão do forno for igual à pressão metalostática, o metal permanece na mesma posição.



# CURVA DE PRESSÃO

## Balanco de pressões

- Se a pressão do forno for maior do que a pressão metalostática, o metal sobe pelo tubo pescador até que a pressão metalostática aumente ao ponto de se igualar com a pressão do forno.

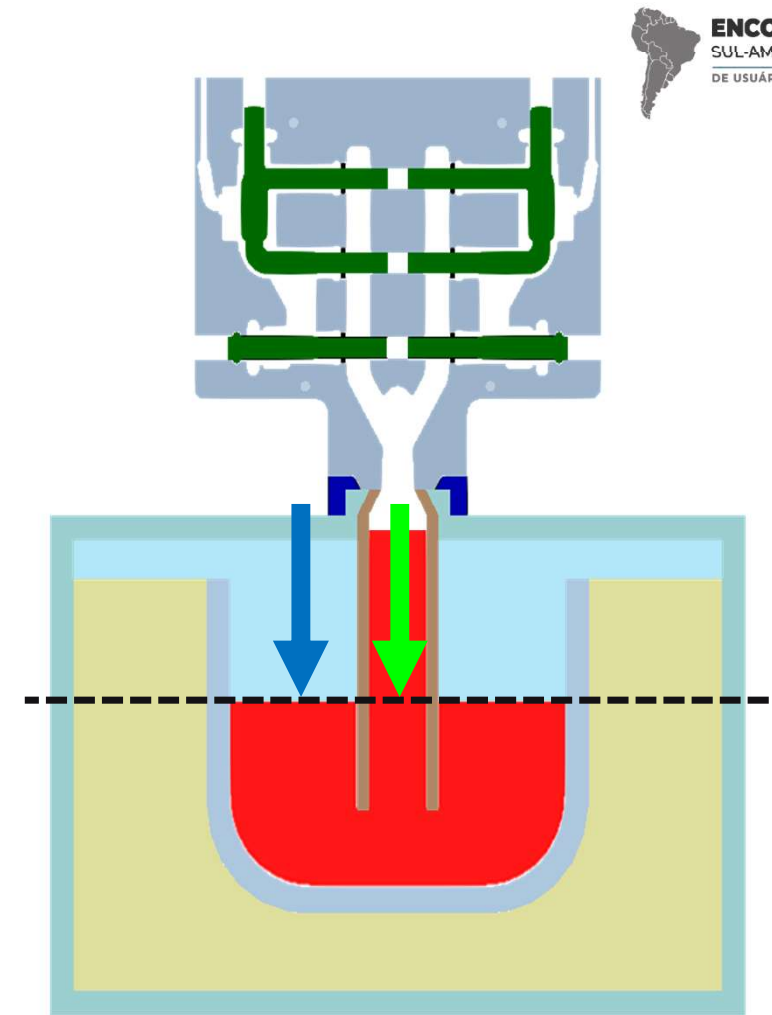




# CURVA DE PRESSÃO

## Balanco de pressões

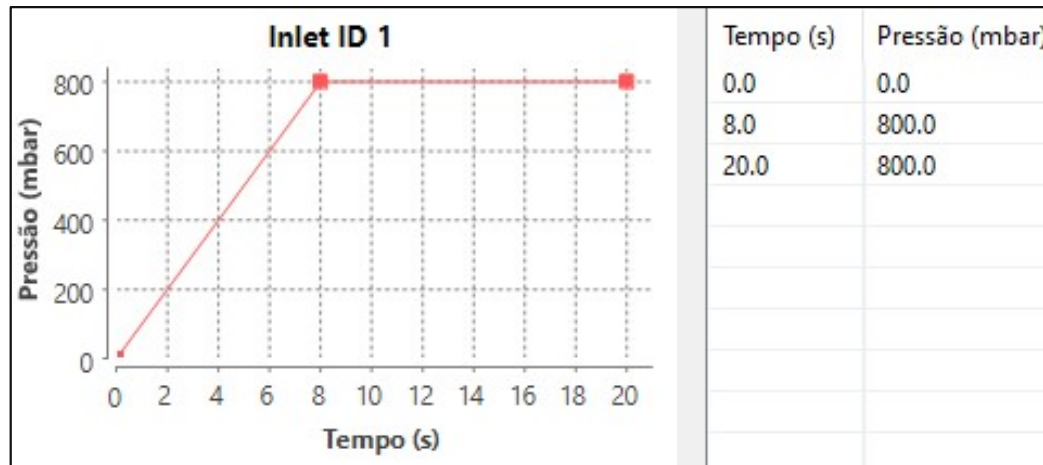
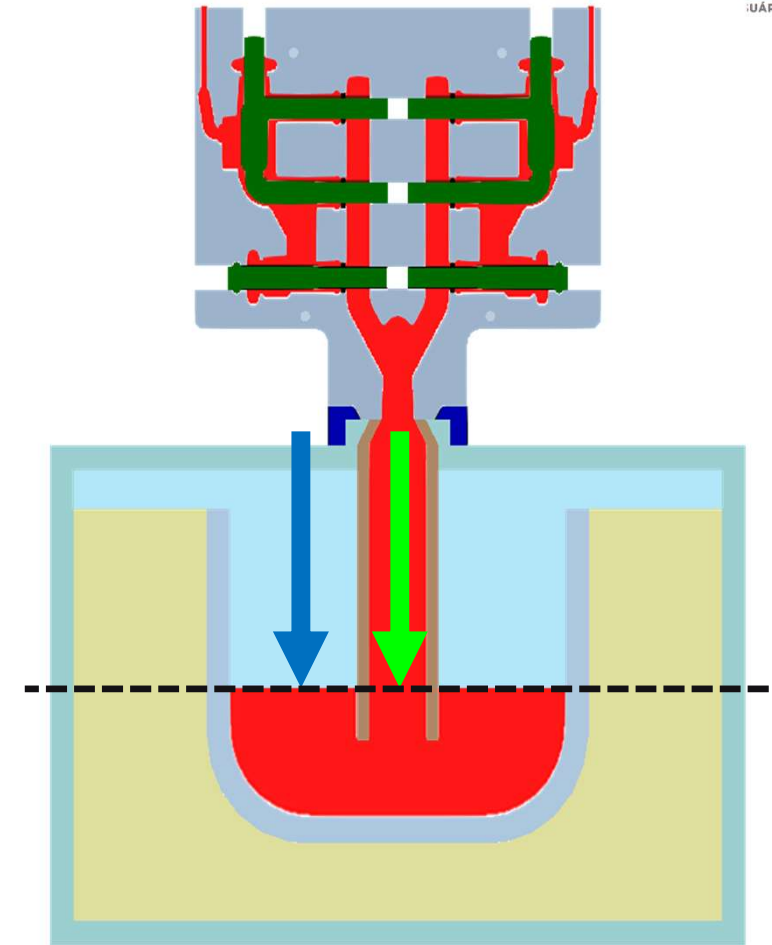
- O deslocamento de metal para cima aumenta a pressão metalostática no nível do forno até a mesma entrar em equilíbrio com a pressão interna do mesmo.



# CURVA DE PRESSÃO

## Balanco de pressões

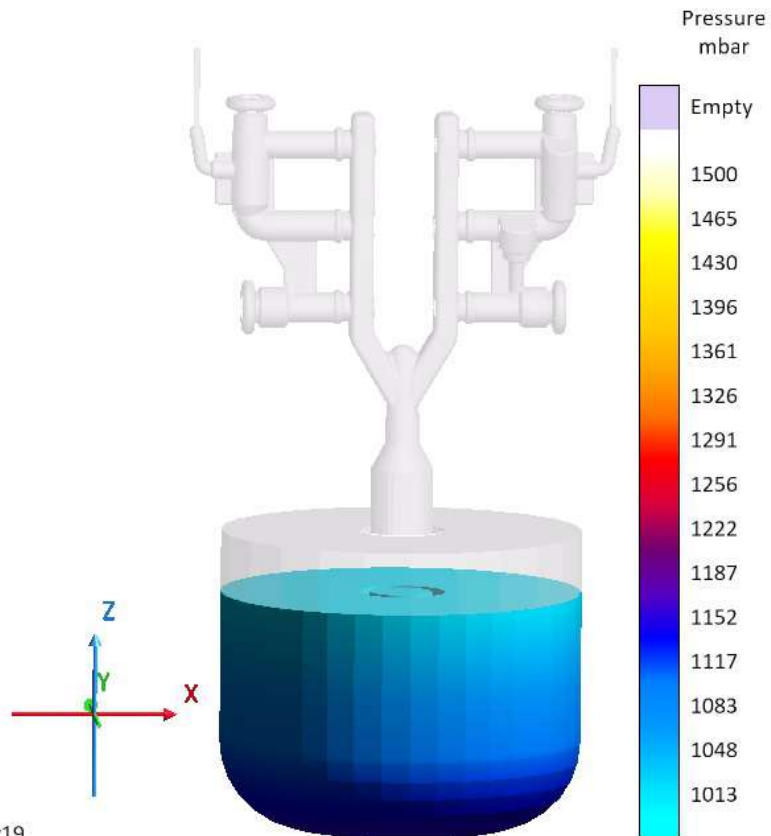
- Durante o enchimento, esse balanço de pressões ocorre de forma dinâmica, sendo necessário um aumento contínuo da pressão até a pressão final necessária para garantir preenchimento pleno da cavidade.



# CURVA DE PRESSÃO

## Balanco de pressões

### Pressão metalostática

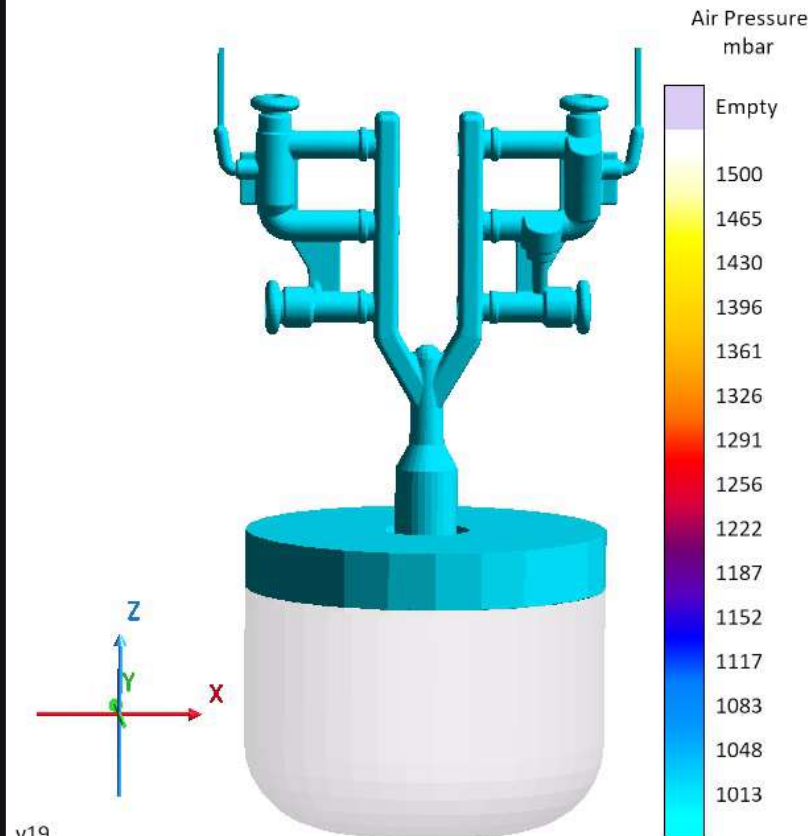


v19  
Cycle 1, Pouring, Pressure  
0.0ms  
X-Ray: on

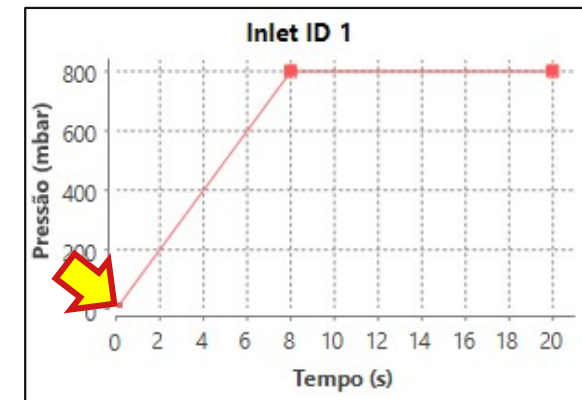
Obs.: A escala dos resultados está em pressão absoluta (considera a pressão atmosférica de 1013 mbar).



### Pressão do ar



v19  
Cycle 1, Pouring, Air Pressure  
0.0ms  
X-Ray: on



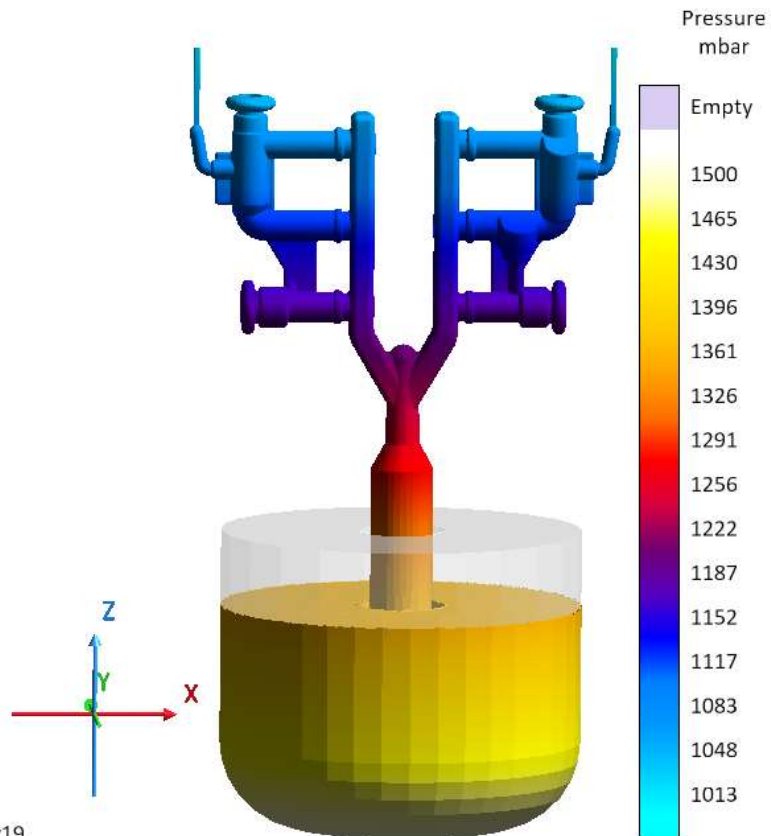
MAGMA

MAGMA

# CURVA DE PRESSÃO

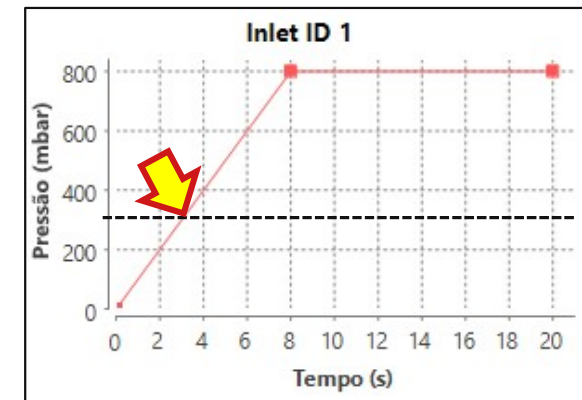
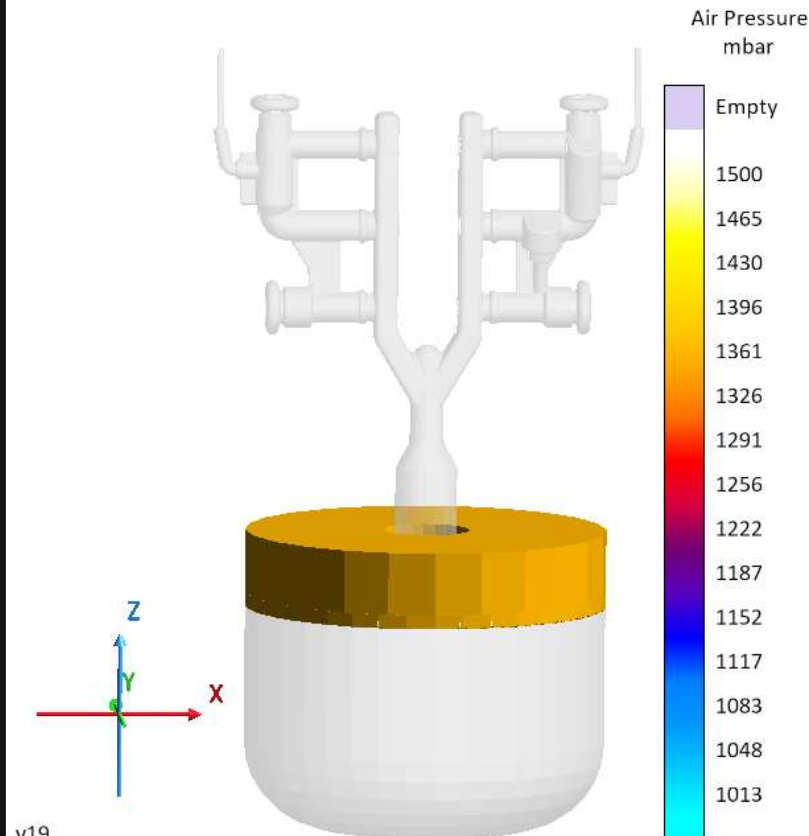
## Balanco de pressões

### Pressão metalostática



Obs.: A escala dos resultados está em pressão absoluta (considera a pressão atmosférica de 1013 mbar).

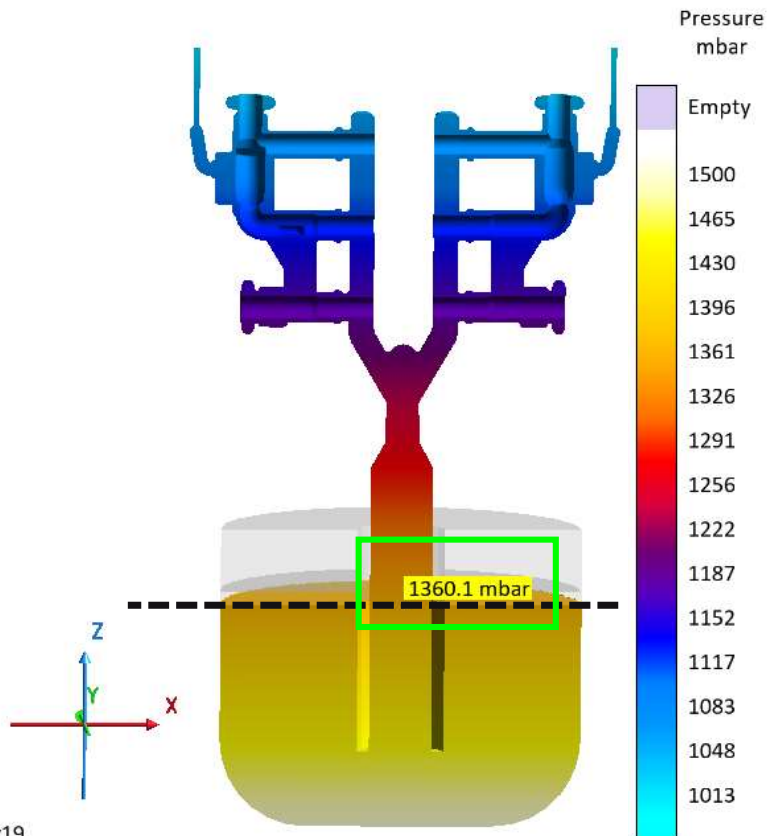
### Pressão do ar



# CURVA DE PRESSÃO

## Balanco de pressões

### Pressão metalostática

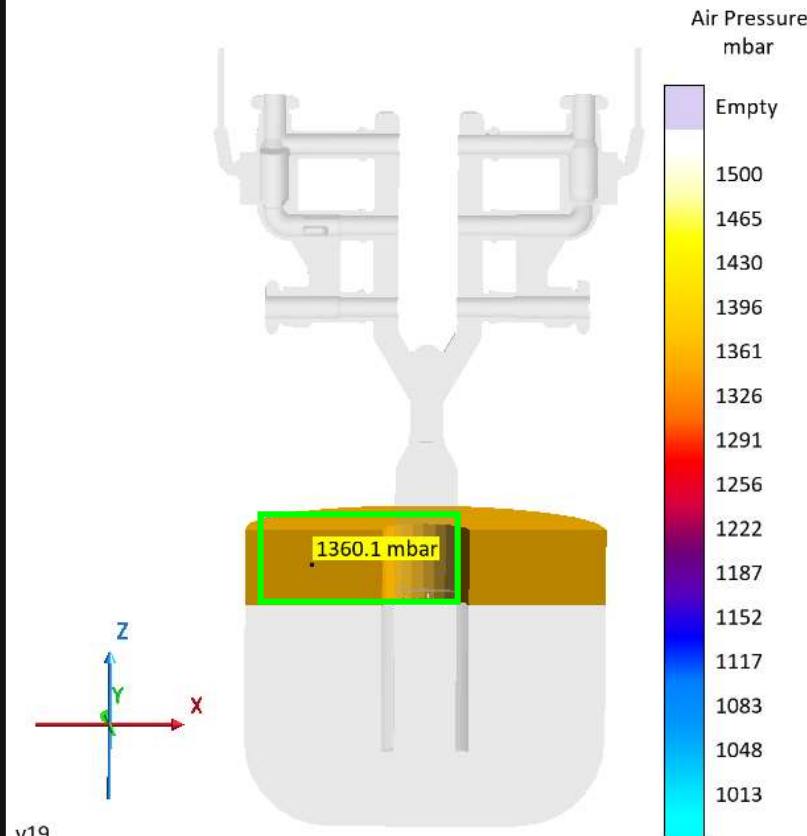


v19  
Cycle 1, Pouring, Pressure  
3.703s  
X-Ray: on

Obs.: A escala dos resultados está em pressão absoluta (considera a pressão atmosférica de 1013 mbar). Dessa forma, 1360.1 mbar de pressão absoluta representa 347.1 mbar de pressão relativa (valor da curva de pressão).

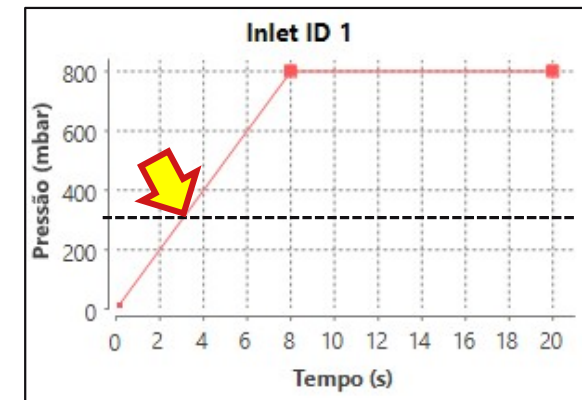


### Pressão do ar



v19  
Cycle 1, Pouring, Air Pressure  
3.703s  
X-Ray: on

Pressão do ar do forno em equilíbrio com a pressão metalostática no nível de metal do forno ao final do enchimento.



MAGMA

MAGMA



# CURVA DE PRESSÃO

## Balanco de pressões

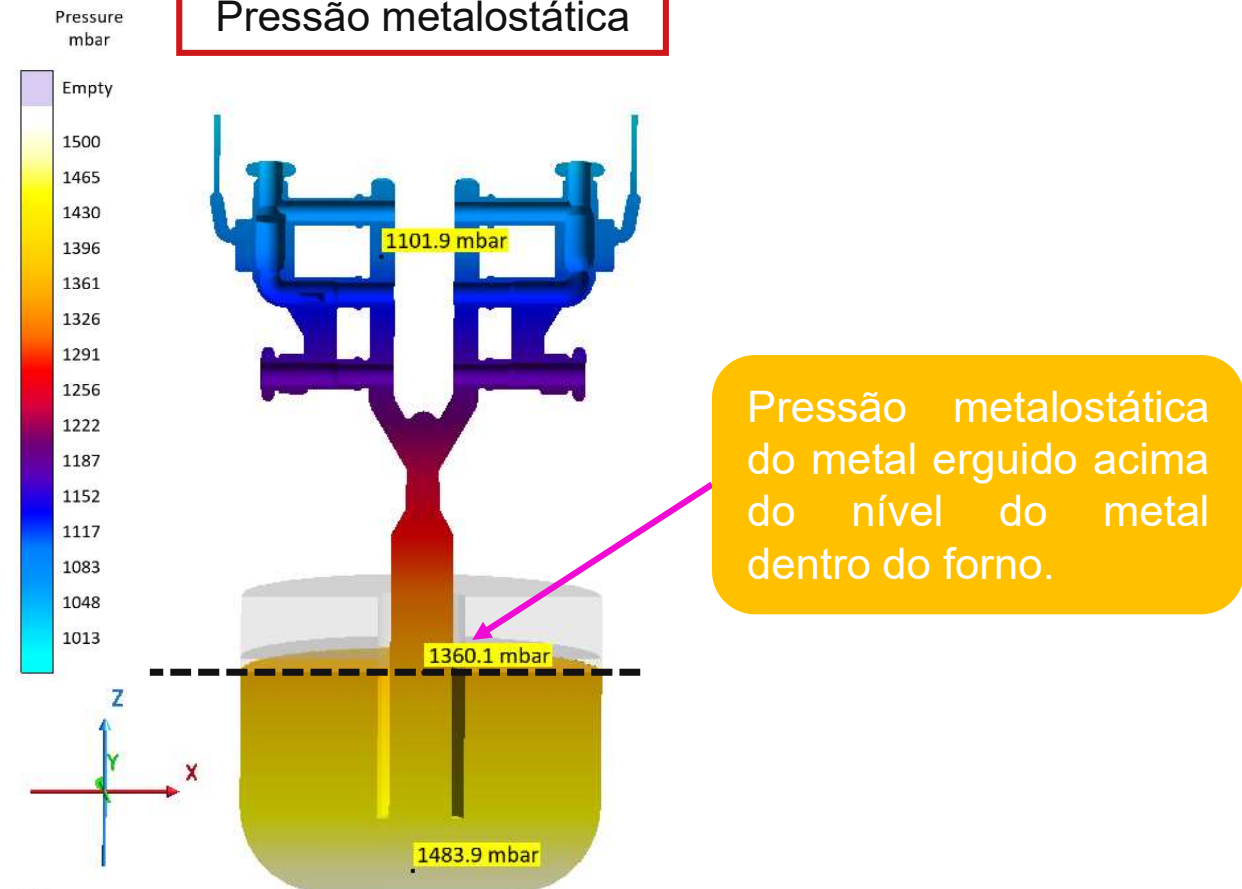
### Pressão metalostática

Obs.: A escala dos resultados está em pressão absoluta (considera a pressão atmosférica de 1013 mbar). Dessa forma, 1360.1 mbar de pressão absoluta representa 347.1 mbar de pressão relativa (valor da curva de pressão).

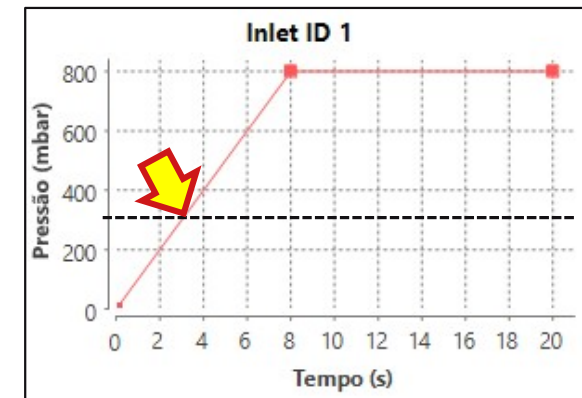
ENCONTRO  
SUL-AMERICANO  
DE USUÁRIOS MAGMA

A pressão metalostática é sempre maior na parte inferior do sistema, pois é resultado da quantidade de metal que existe acima daquela posição.

O valor de pressão metalostática que importa para a curva de pressão é o nível de metal dentro do forno, ou seja o nível acima do qual se está erguendo o metal para preencher a cavidade.



Pressão metalostática do metal erguido acima do nível do metal dentro do forno.

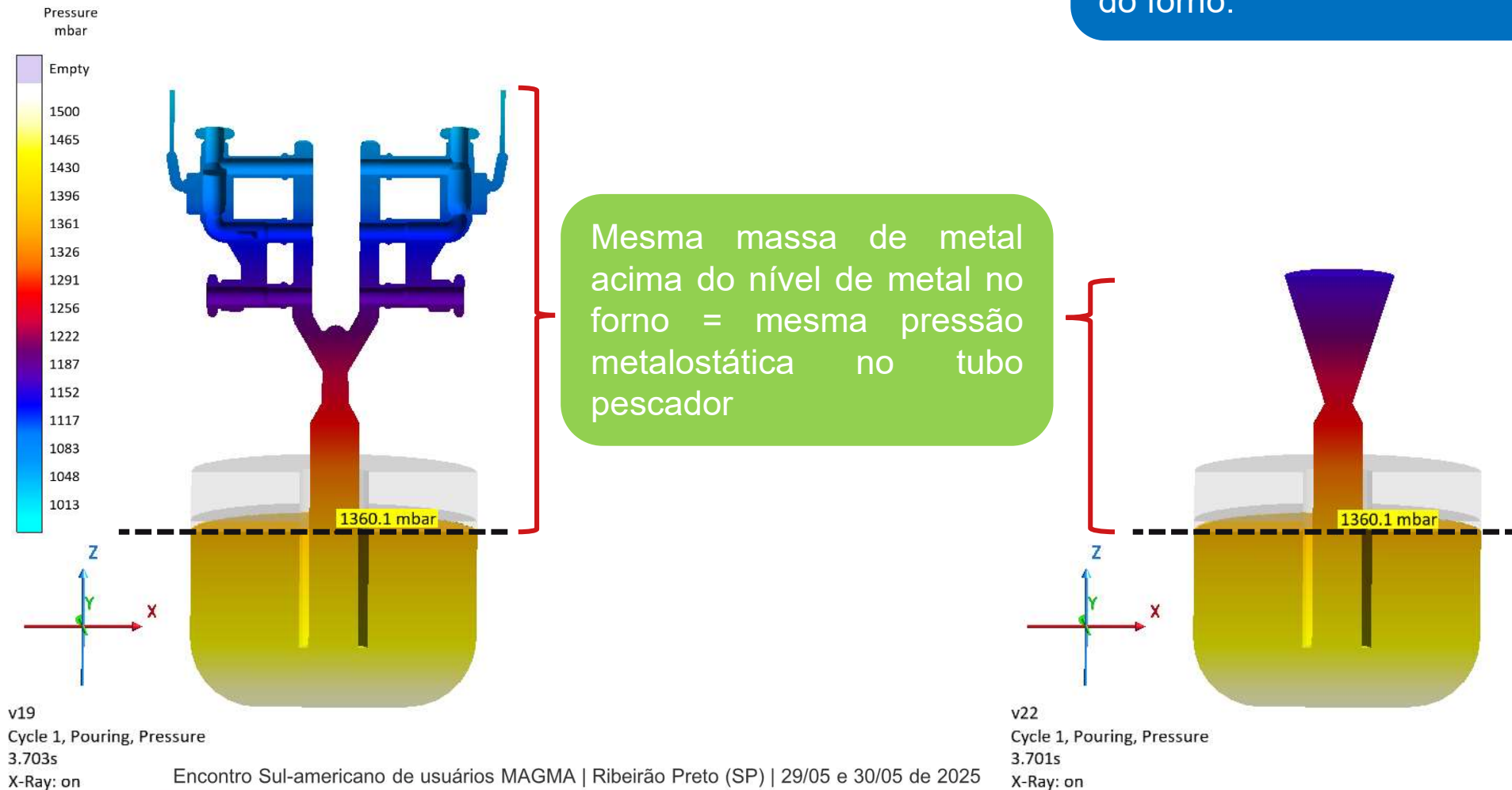


v19  
Cycle 1, Pouring, Pressure  
3.703s  
X-Ray: on

# CURVA DE PRESSÃO

## Pressão metalostática Vs geometria

O formato do metal dentro da cavidade **não importa!** Somente a massa de metal que está acima do nível do metal dentro do forno.





# CURVA DE PRESSÃO

## Encontrando os valores de pressão

— Pressão metalostática para encher toda a cavidade

ii.  $P = F/A$

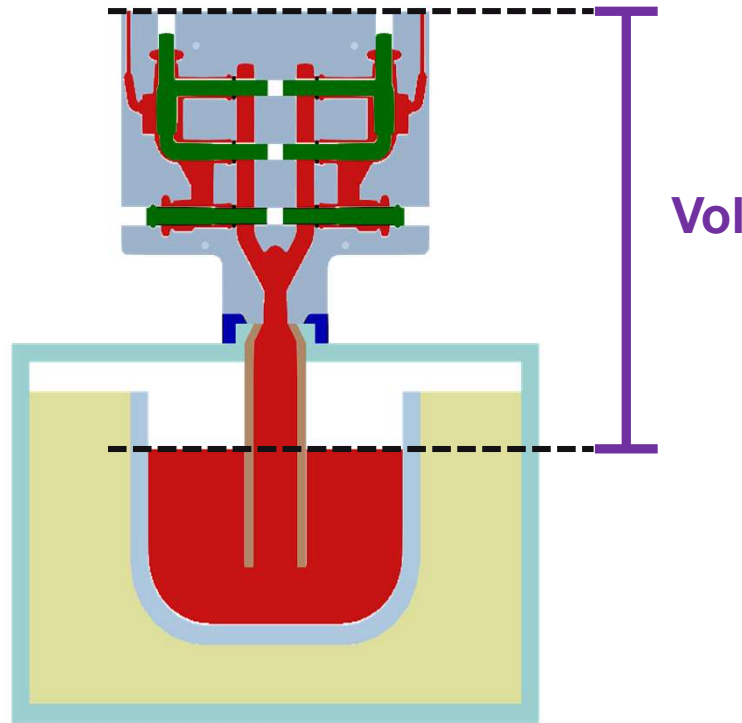
iii.  $F_{\text{peso}} = M * g$

iv.  $M = \text{Vol} * \rho$

—  $P = F/A$

—  $P = M * g / A$

—  $P = \text{Vol} * \rho * g / A$



O formato do metal dentro da cavidade **não importa!** Somente a massa de metal que está acima do nível do metal dentro do forno.

Onde,

P = pressão

M = massa de metal acima do nível do forno

Vol = volume de metal acima do nível do forno

$\rho$  = densidade da liga

A = área da secção transversal do tubo pescador

g = aceleração da gravidade

Referência de densidades:

$\rho_{\text{alumínio líquido}} = 2,7 \text{ g/cm}^3$

$\rho_{\text{latão líquido}} = 7,8 \text{ g/cm}^3$

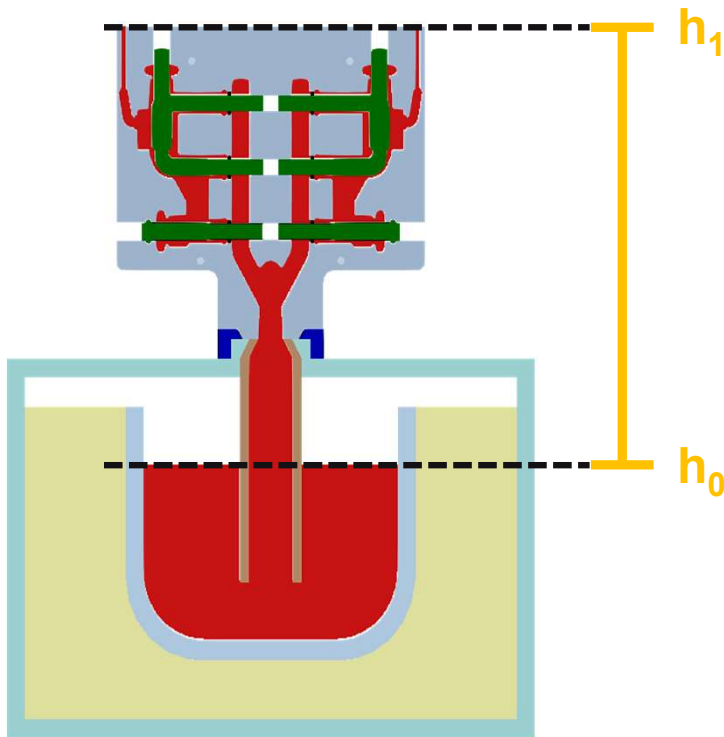
$$P_{\text{metalostática}} = \text{Vol} * g * \rho / A$$

# CURVA DE PRESSÃO

## Cálculo da curva de pressão

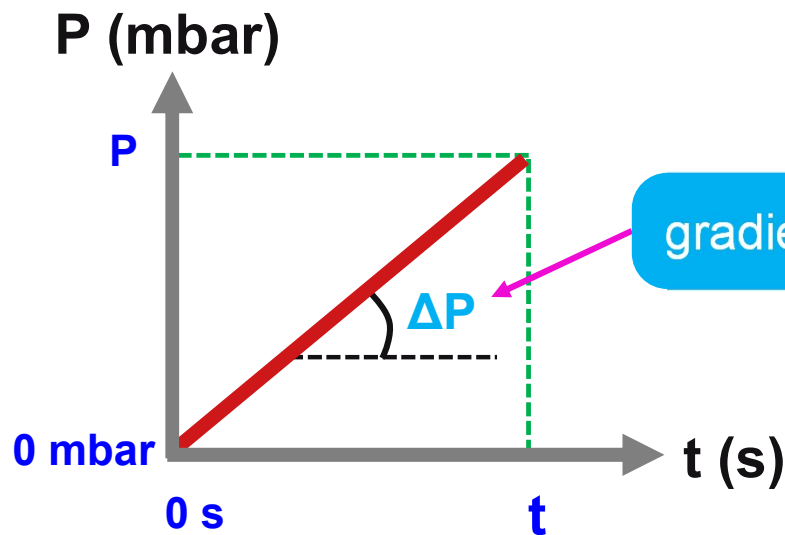
$$P_{\text{metalostática}} = \text{Vol} * g * \rho / A$$

CONTRO  
ERICANO  
LOS MAGMA



O valor de pressão na curva define até onde o metal consegue subir.

Por sua vez, o tempo de aumento da pressão até este valor de pressão final é quem determina quão rápido o enchimento ocorre. A taxa de aumento de pressão por tempo é denominada de **gradiente de pressão ( $\Delta P$ )**.



gradiente de pressão ( $\Delta P$ ).

# CURVA DE PRESSÃO

## Efeito do gradiente de pressão no enchimento

$\Delta P = 50 \text{ mbar/s}$

$\Delta P = 100 \text{ mbar/s}$

$\Delta P = 200 \text{ mbar/s}$

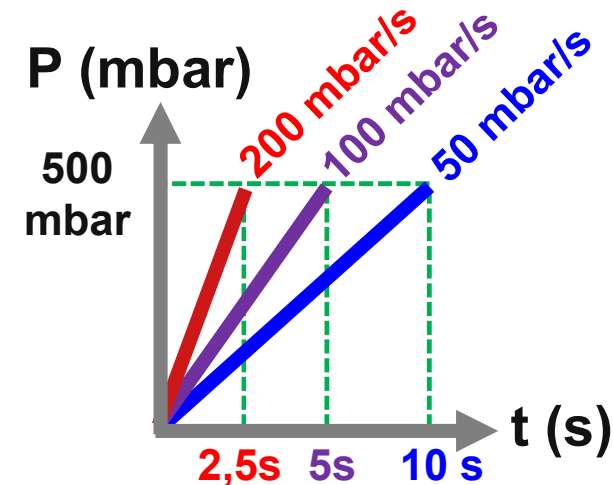


Temperature  
°C



Gradientes de pressão mais elevados resultam em um enchimento mais rápido da cavidade, isso por sua vez:

- Reduz a perda de temperatura durante o enchimento
- Aumenta a turbulência durante o enchimento



# CURVA DE PRESSÃO

## Efeito do gradiente de pressão no enchimento

$\Delta P = 50 \text{ mbar/s}$

$\Delta P = 100 \text{ mbar/s}$

$\Delta P = 200 \text{ mbar/s}$

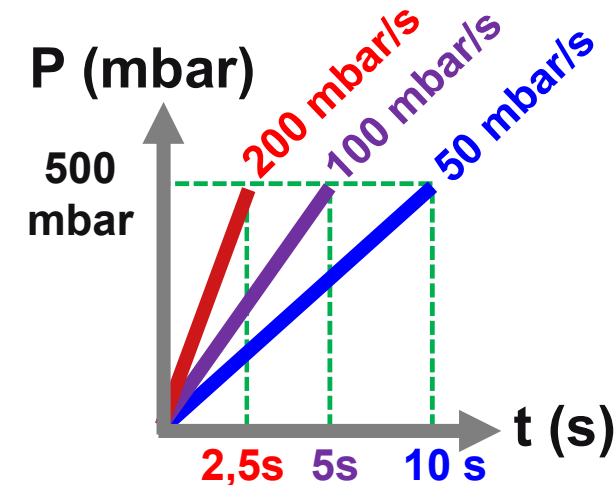


Absolute Velocity  
m/s



Gradientes de pressão mais elevados resultam em um enchimento mais rápido da cavidade, isso por sua vez:

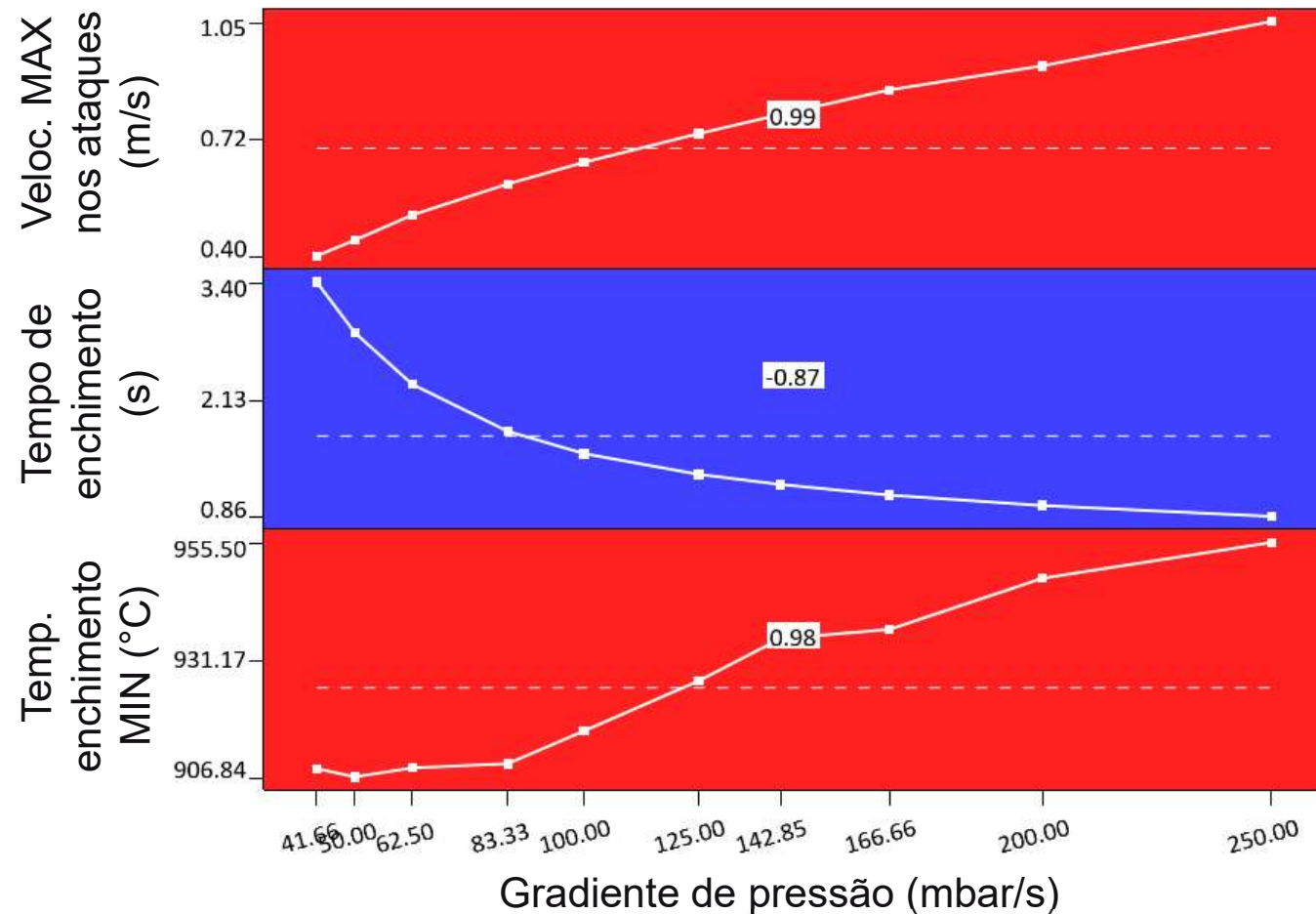
- Reduz a perda de temperatura durante o enchimento
- Aumenta a turbulência durante o enchimento



MAGMA

# CURVA DE PRESSÃO

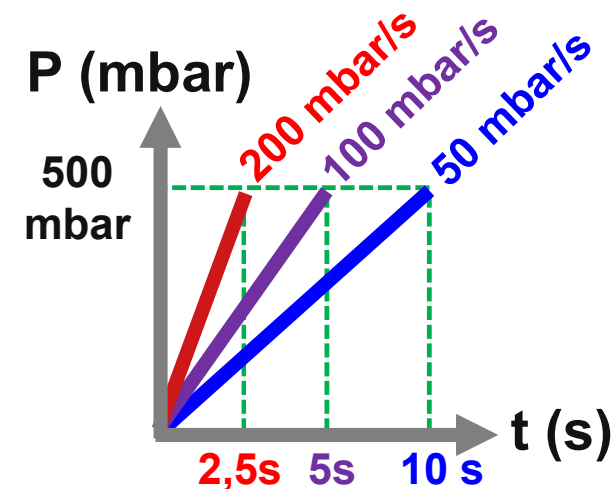
## Efeito do gradiente de pressão no enchimento



Encontro Sul-americano de usuários MAGMA | Ribeirão Preto (SP) | 29/05 e 30/05 de 2025

Gradientes de pressão mais elevados resultam em um enchimento mais rápido da cavidade, isso por sua vez:

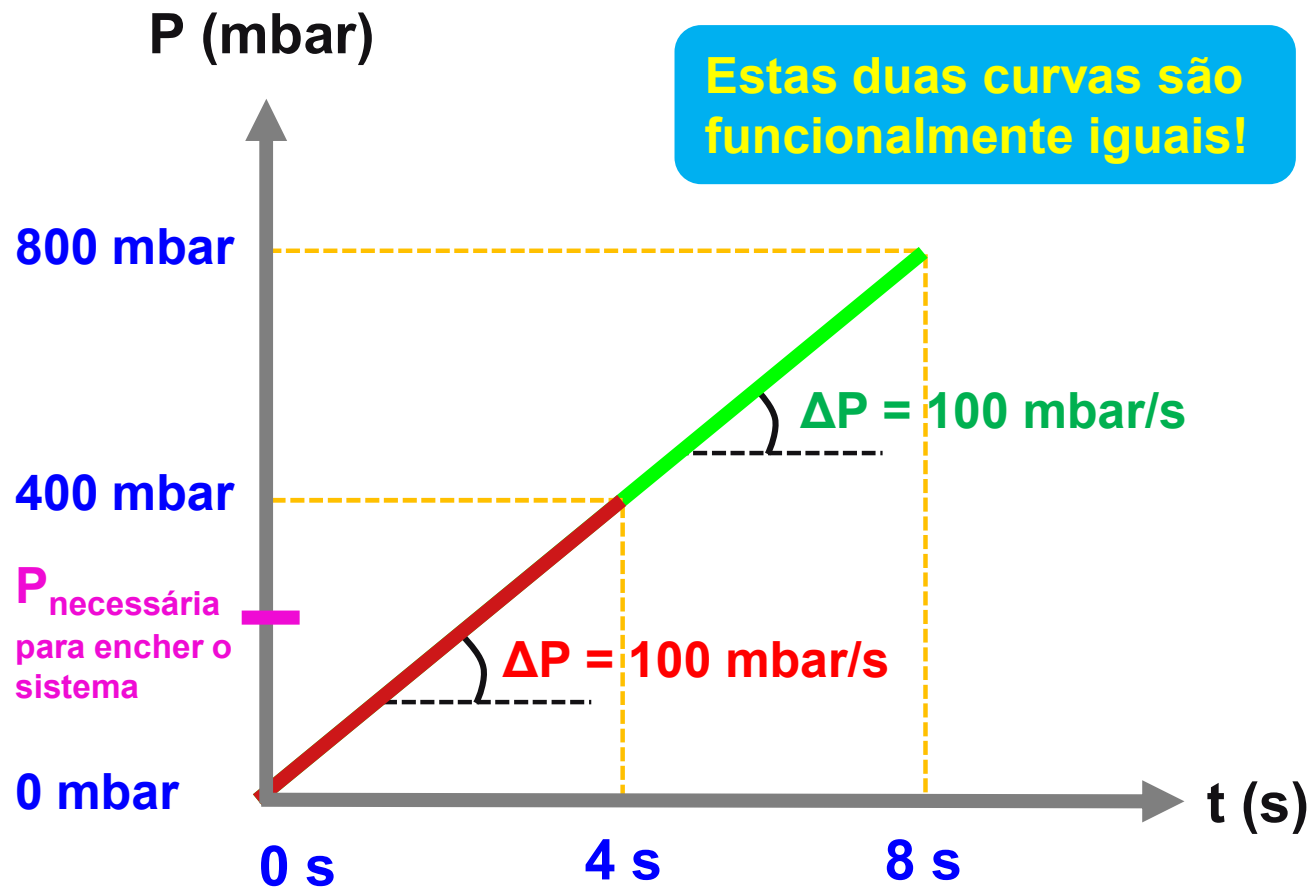
- Reduz a perda de temperatura durante o enchimento
- Aumenta a turbulência durante o enchimento



MAGMA

# CURVA DE PRESSÃO

## Observação 1

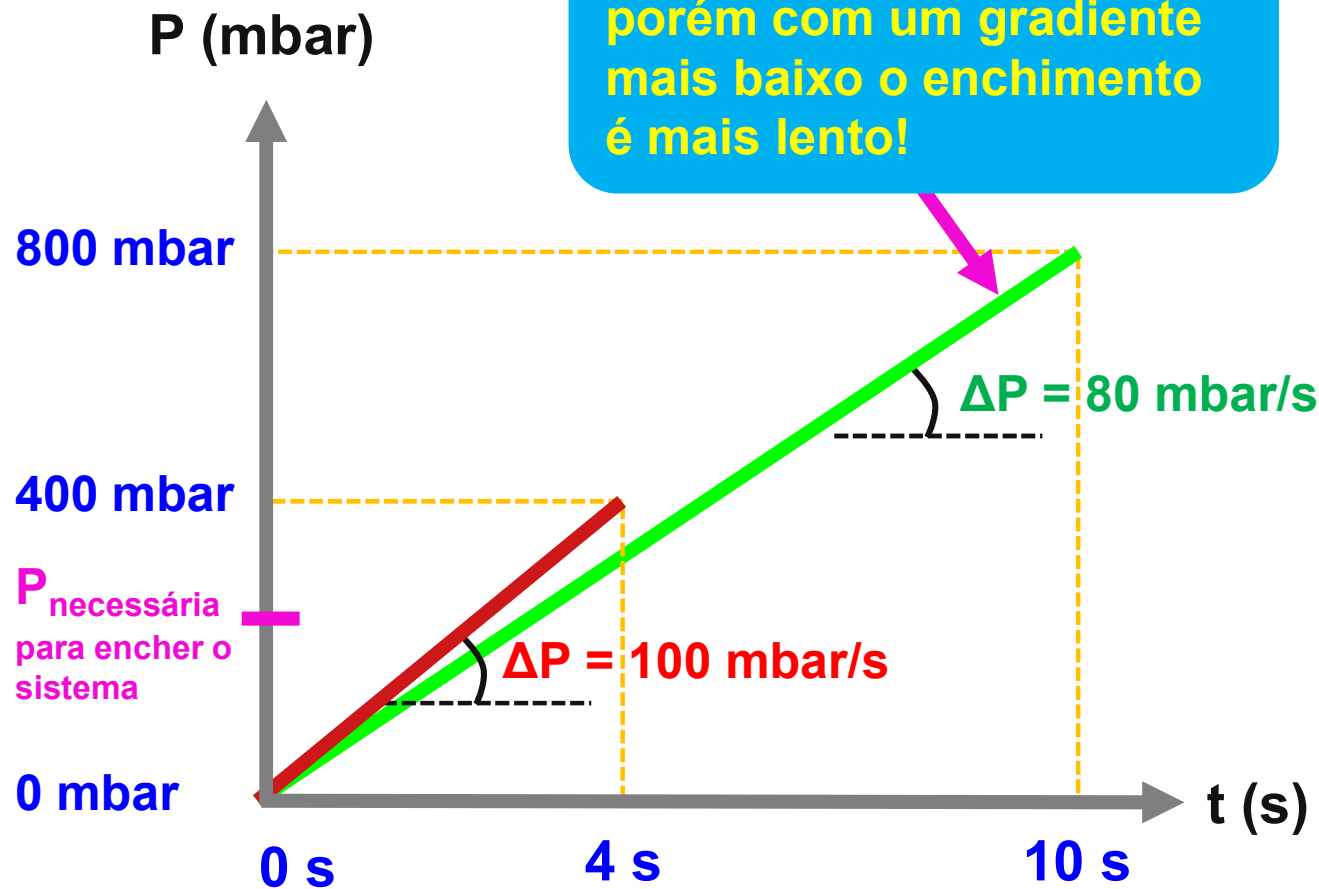


Um erro comum na definição da curva é trocar o conceito de gradiente de pressão com a pressão final da curva.

Quando o intuito é de reduzir o tempo de enchimento da cavidade, não adianta somente aumentar o valor da pressão final sem alterar o gradiente de pressão.

# CURVA DE PRESSÃO

## Observação 2



A pressão final é maior, porém com um gradiente mais baixo o enchimento é mais lento!

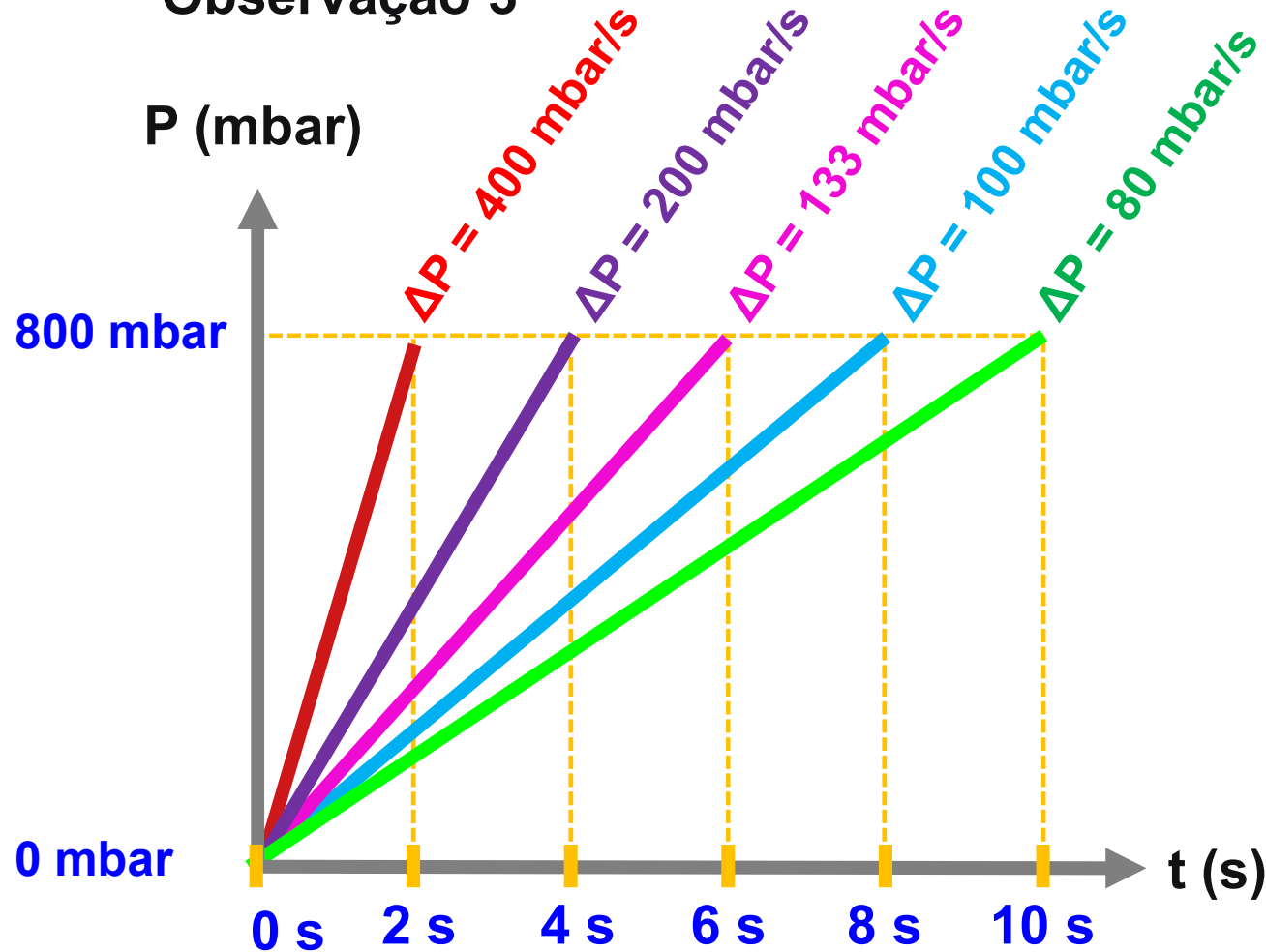
Um erro comum na definição da curva é trocar o conceito de gradiente de pressão com a pressão final da curva.

Pior ainda, é comum encontrar situações onde o intuito final é de reduzir o tempo de enchimento, e para tal fim é aumentado o valor final de pressão, porém utilizando um gradiente de pressão mais baixo, o que na verdade deixa o enchimento mais lento!



# CURVA DE PRESSÃO

## Observação 3



Afinal então, qual é o gradiente que deve ser utilizado para um determinado sistema?

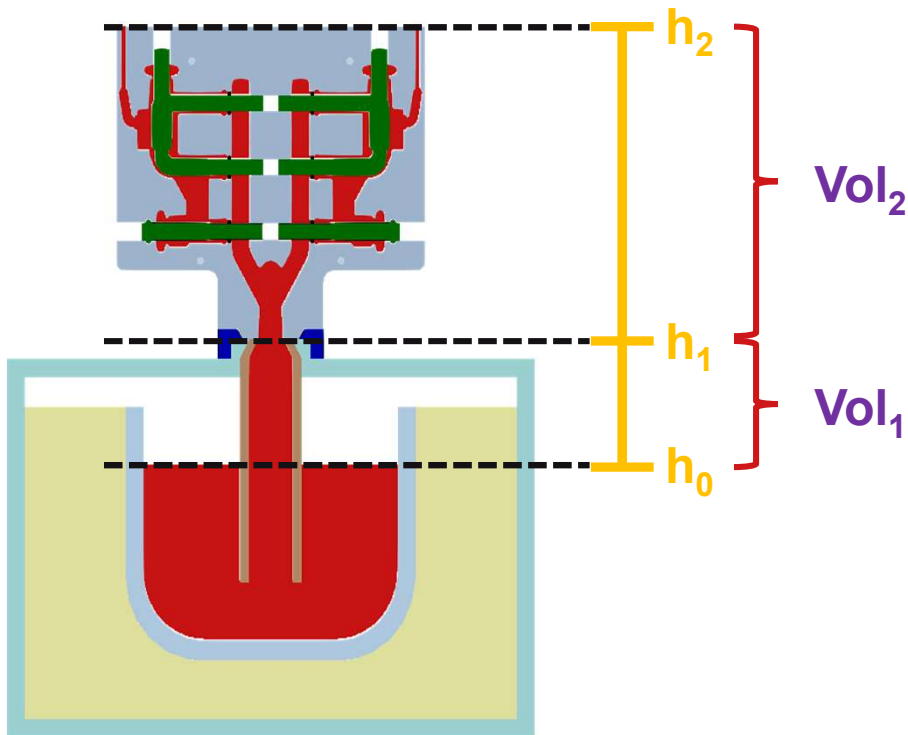
**O menor possível sem que ocorram problemas de junta fria!**

Como a perda de temperatura depende de inúmeros aspectos de projeto (espessura de parede do produto, sistema de canais, etc.) e de processo (pintura, material da ferramenta, material do tubo pescador, tipo de liga, etc.), o gradiente de pressão ideal precisa ser definido caso a caso.

**O uso de simulação de fundição é uma ferramenta fundamental para esta tarefa!**

# CURVA DE PRESSÃO

## Cálculo da curva de pressão

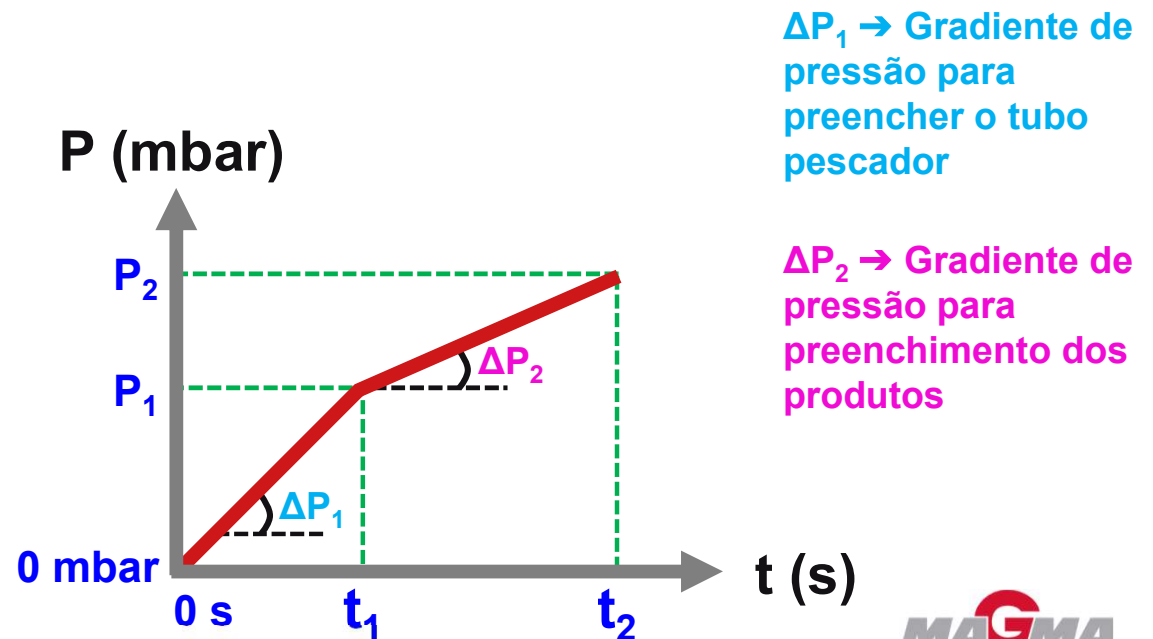


$$P_{\text{metalostática}} = Vol * g * \rho / A$$

CONTRO  
ERICANO  
OS MAGMA

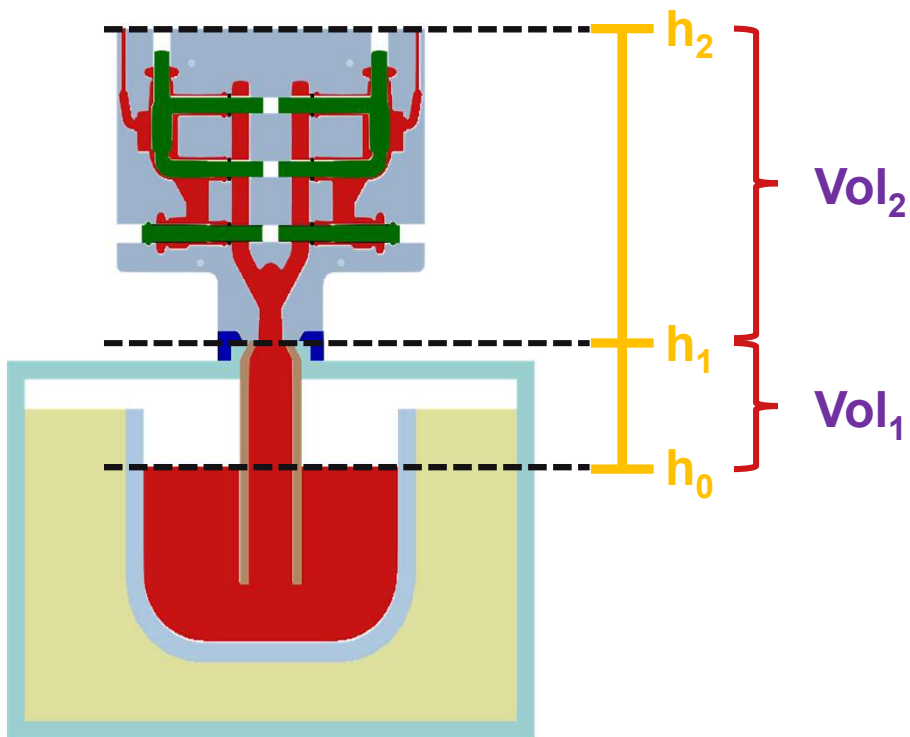
Existe a possibilidade de definir uma curva de pressão com gradientes distintos para encher regiões distintas do sistema.

Para tal fim é preciso calcular a pressão para atingir cada ponto de interesse.



# CURVA DE PRESSÃO

## Exemplo



$$P_{\text{metalostática}} = \text{Vol} * g * \rho / A$$

CONTRO  
ERICANO  
OS MAGMA

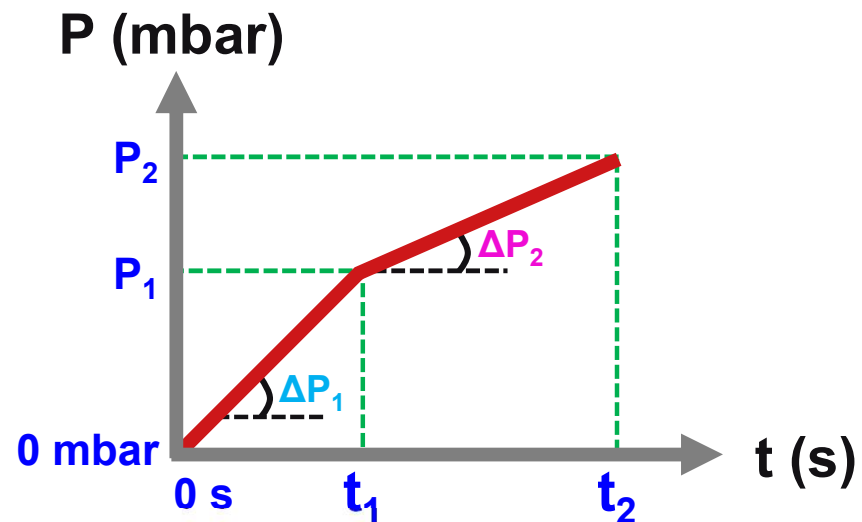
**Pressão necessária para atingir h1:**

$$P_1 = \text{Vol}_1 * g * \rho / A$$

**Pressão necessária para atingir h2:**

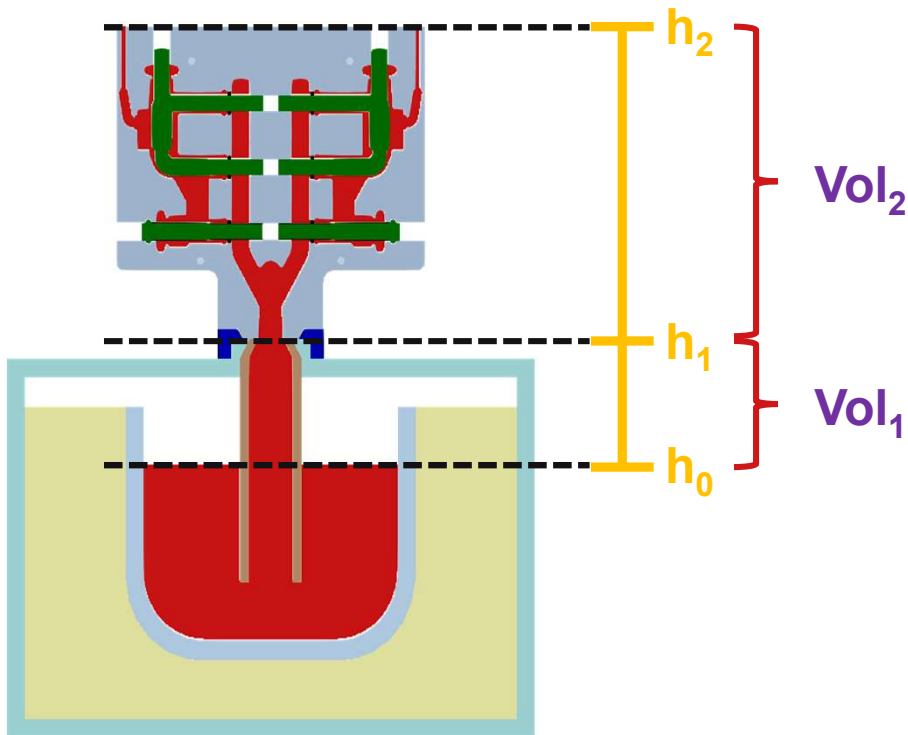
$$P_2 = (\text{Vol}_1 + \text{Vol}_2) * g * \rho / A$$

Obs.: Deve-se considerar o volume total deslocado até o ponto de interesse!



# CURVA DE PRESSÃO

## Exemplo



### EXEMPLO:

Liga de alumínio, com  $\rho_{\text{alumínio líquido}} = 2,7 \text{ g/cm}^3$

$\text{Vol}_1 = 330 \text{ cm}^3$

$\text{Vol}_2 = 550 \text{ cm}^3$

$A_{\text{tubo pescador}} = 20 \text{ cm}^2 = 0,002 \text{ m}^2$

### Pressão necessária para atingir h1:

$$P_1 = \text{Vol}_1 \cdot g \cdot \rho / A$$

$$P_1 = 330 \cdot 9,8 \cdot 2,7 / 0,002 \text{ [cm}^3 \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{g/cm}^3 \cdot 1/\text{m}^2]$$

$$P_1 = 4.365.900 \text{ [g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}] = 4365,9 \text{ [g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}] = 4365,9 \text{ [Pa]}$$

$$P_1 = 43 \text{ mbar}$$

### Pressão necessária para atingir h2:

$$P_2 = (\text{Vol}_1 + \text{Vol}_2) \cdot g \cdot \rho / A$$

$$P_2 = (330 + 550) \cdot 9,8 \cdot 2,7 / 0,002 \text{ [cm}^3 \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{g/cm}^3 \cdot 1/\text{m}^2]$$

$$P_2 = 116 \text{ mbar}$$

Obs.:

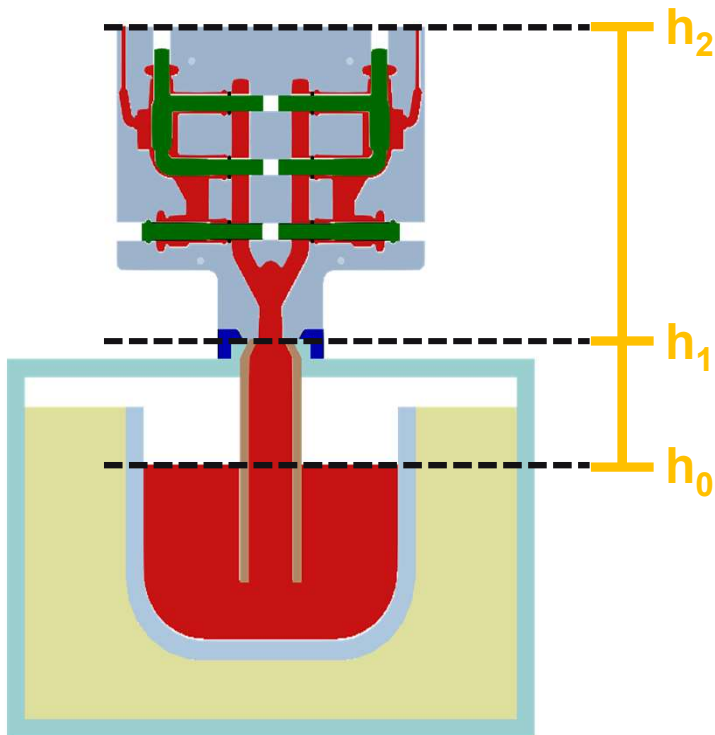
$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$$

# CURVA DE PRESSÃO

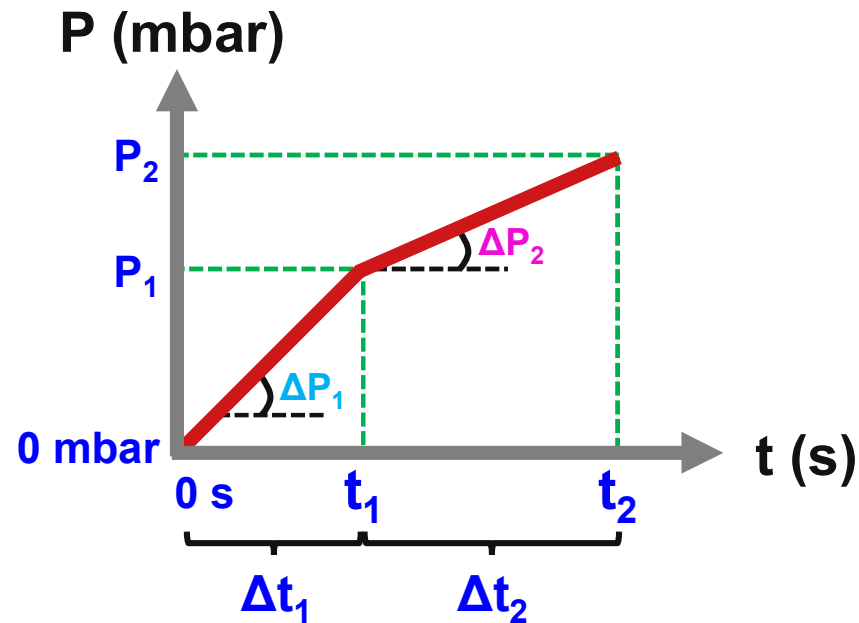
## Exemplo

Observação: Os valores de tempo e pressão dados aqui são exemplos e precisam ser calculados na prática pela fundição! O cálculo dos valores de pressão não considera perdas por atrito nem contrapressão na cavidade, os valores de pressão na prática podem requerer ajustes em virtude destes fatores!



Posição	t	P	$\Delta P$
$h_0$	0 s	0 mbar	-
$h_1$	$t_1$	43 mbar	80 mbar/s
$h_2$	$t_2$	116 mbar	50 mbar/s

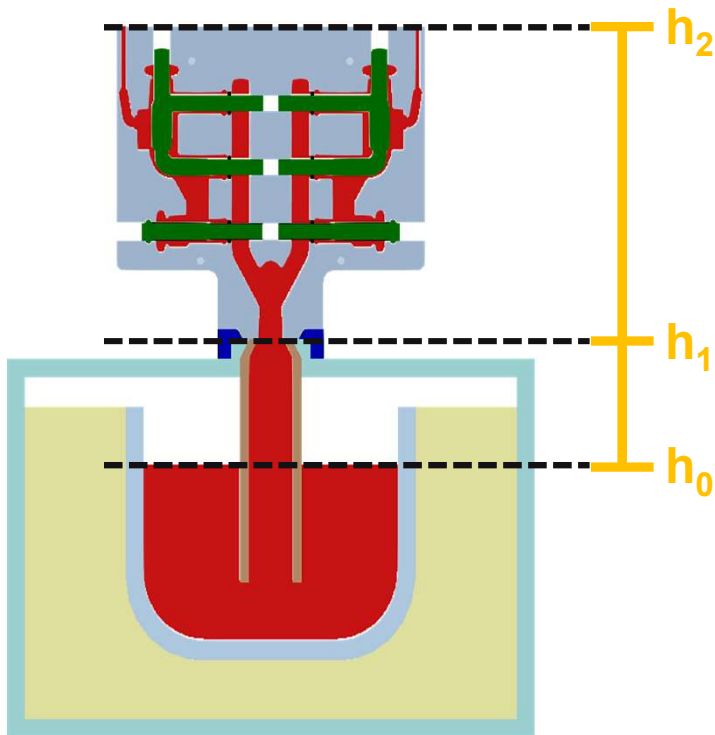
Gradiente mais alto para encher o tubo Pescador ( $\Delta P_1$ ) e mais baixo para encher os produtos ( $\Delta P_2$ ), para reduzir a turbulência no enchimento dos produtos.



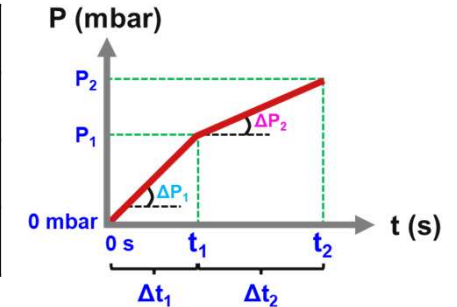
# CURVA DE PRESSÃO

## Exemplo

Observação: Os valores de tempo e pressão dados aqui são exemplos e precisam ser calculados na prática pela fundição! O cálculo dos valores de pressão não considera perdas por atrito nem contrapressão na cavidade, os valores de pressão na prática podem requerer ajustes em virtude destes fatores!



Posição	t	P	$\Delta P$
$h_0$	0 s	0 mbar	-
$h_1$	$t_1$	43 mbar	80 mbar/s
$h_2$	$t_2$	116 mbar	50 mbar/s



### Tempo de $h_0$ até $h_1$ :

$$\Delta P_1 = (P_1 - P_0) / \Delta t_1 = 80 \text{ mbar/s}$$

$$\Delta P_1 = (43 - 0) / \Delta t_1 = 80 \text{ mbar/s} \rightarrow \Delta t_1 = 43/80$$

$$\Delta t_1 = 43/80 = 0,53 \text{ s} \approx 0,5 \text{ s}$$

### Tempo de $h_1$ até $h_2$ :

$$\Delta P_2 = (P_2 - P_1) / \Delta t_2 = 50 \text{ mbar/s}$$

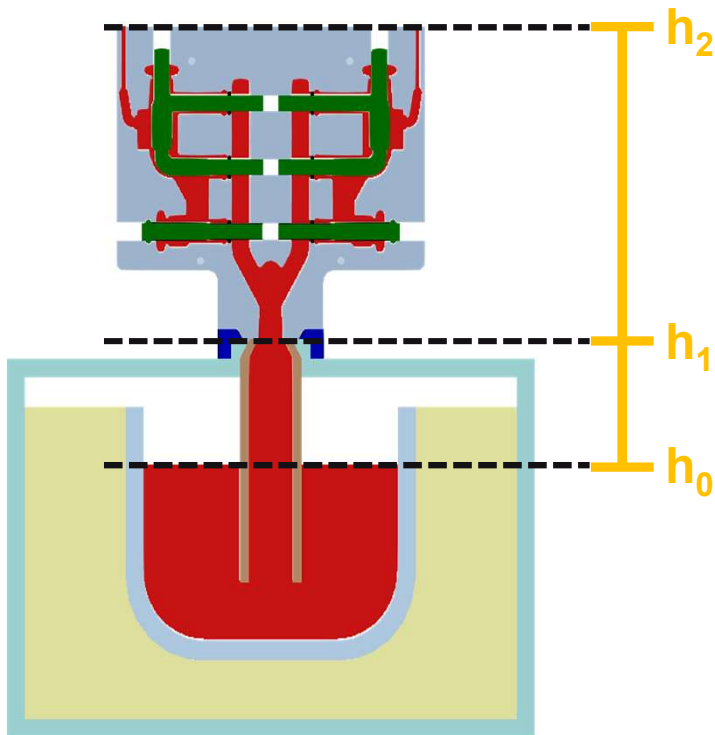
$$\Delta P_2 = (116 - 43) / \Delta t_2 = 50 \text{ mbar/s} \rightarrow \Delta t_2 = (116-43)/50$$

$$\Delta t_2 = 73/50 = 1,46 \text{ s} \approx 1,5 \text{ s}$$

# CURVA DE PRESSÃO

## Exemplo

Observação: Os valores de tempo e pressão dados aqui são exemplos e precisam ser calculados na prática pela fundição! O cálculo dos valores de pressão não considera perdas por atrito nem contrapressão na cavidade, os valores de pressão na prática podem requerer ajustes em virtude destes fatores!



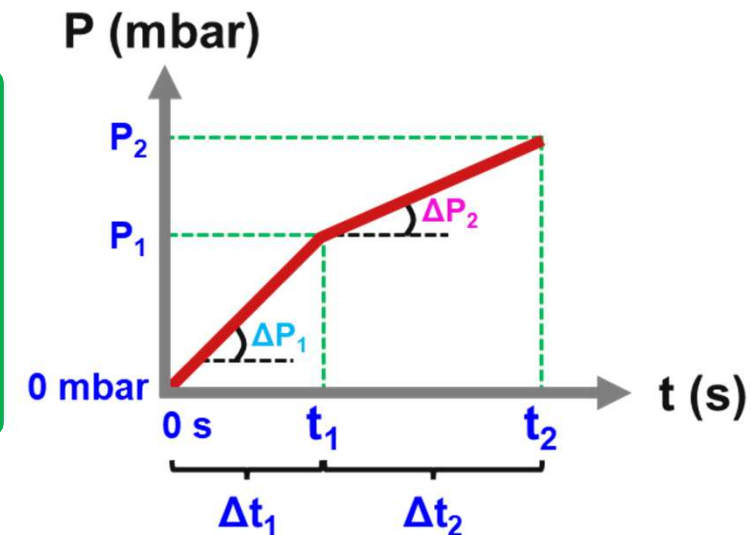
Posição	t	P	$\Delta P$
$h_0$	0 s	0 mbar	-
$h_1$	$t_1$	43 mbar	80 mbar/s
$h_2$	$t_2$	116 mbar	50 mbar/s

$$\Delta t_1 = 0,5s$$

$$\Delta t_2 = 1,5s$$

$$t_1 = \Delta t_1 = 0,5s$$

$$t_2 = \Delta t_1 + \Delta t_2 = 0,5 + 1,5 = 2,0s$$

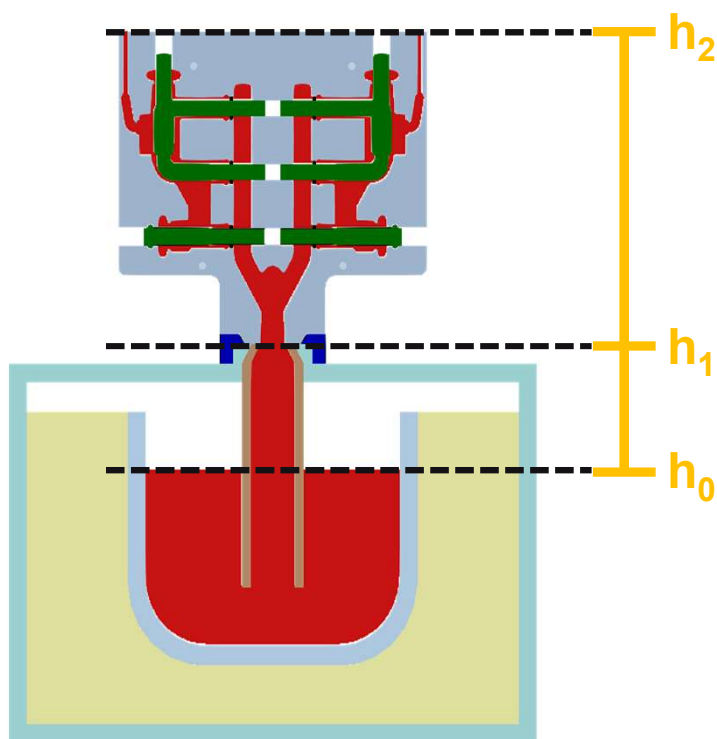




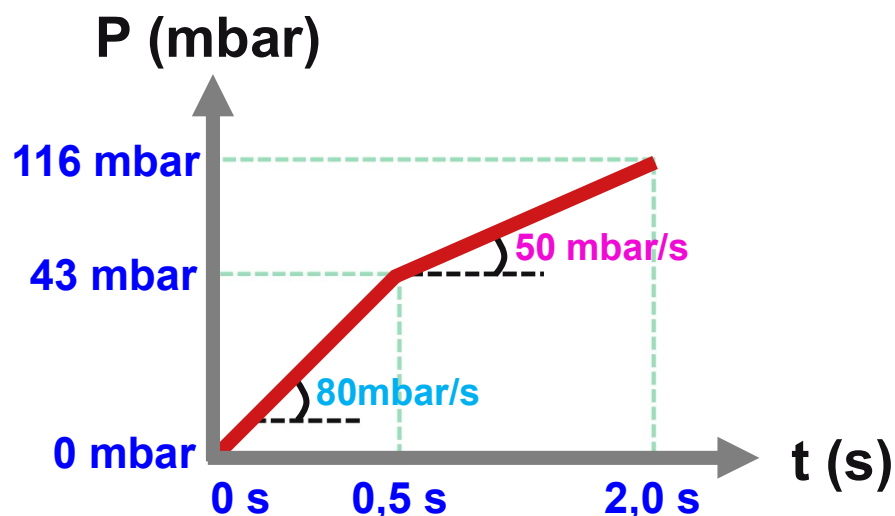
# CURVA DE PRESSÃO

## Exemplo

Observação: Os valores de tempo e pressão dados aqui são exemplos e precisam ser calculados na prática pela fundição! O cálculo dos valores de pressão não considera perdas por atrito nem contrapressão na cavidade, os valores de pressão na prática podem requerer ajustes em virtude destes fatores!



Posição	t	P	$\Delta P$
$h_0$	0 s	0 mbar	-
$h_1$	0,5	43 mbar	80 mbar/s
$h_2$	2,0	116 mbar	50 mbar/s

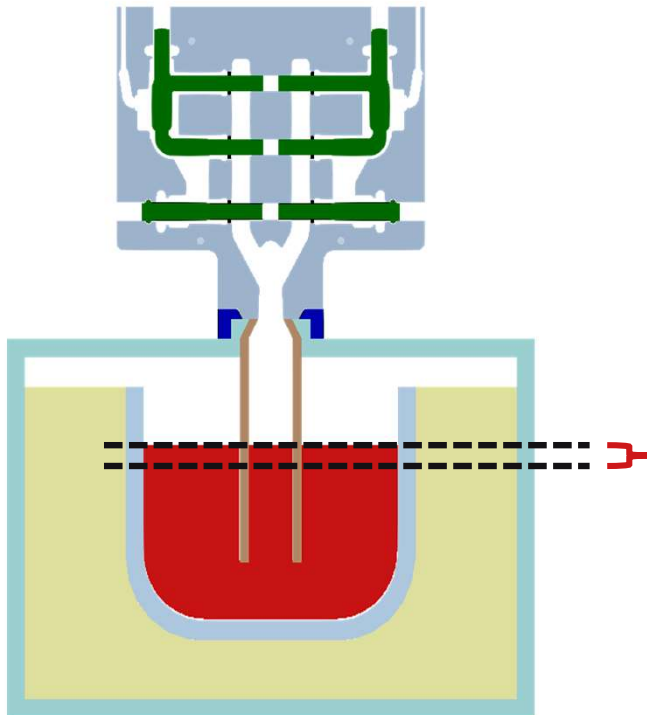


# Curva de pressão: Compensação

# CURVA DE PRESSÃO

## Compensação

1ª injeção



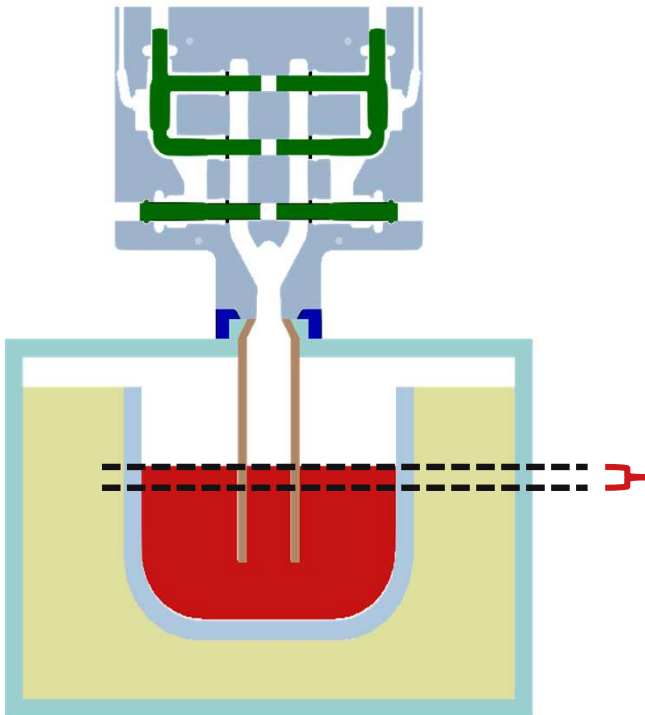
Quantidade de metal  
do forno necessária  
para realizar uma  
injeção

A cada injeção, é utilizado uma certa quantidade de metal do forno para preencher a cavidade. Isso por sua vez faz com que o forno esteja menos preenchido no ciclo seguinte, aumentando a distância do nível do forno até o topo da cavidade para o ciclo seguinte.

# CURVA DE PRESSÃO

## Compensação

2ª injeção

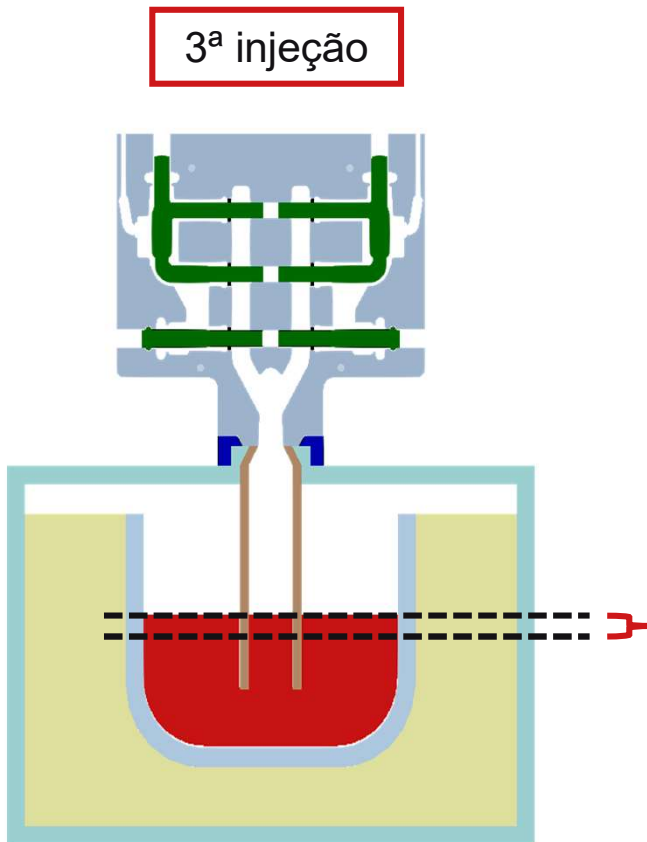


Quantidade de metal  
do forno necessária  
para realizar uma  
injeção

A cada injeção, é utilizado uma certa quantidade de metal do forno para preencher a cavidade. Isso por sua vez faz com que o forno esteja menos preenchido no ciclo seguinte, aumentando a distância do nível do forno até o topo da cavidade para o ciclo seguinte.

# CURVA DE PRESSÃO

## Compensação



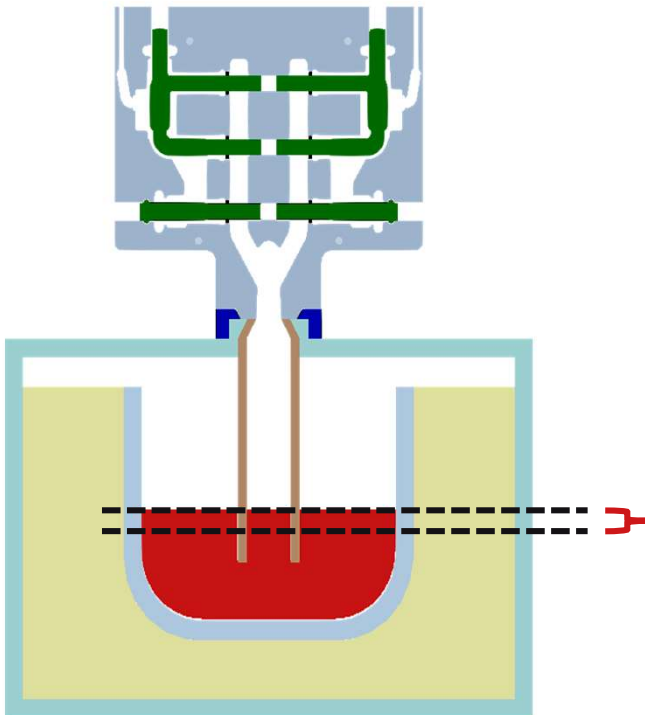
Quantidade de metal  
do forno necessária  
para realizar uma  
injeção

A cada injeção, é utilizado uma certa quantidade de metal do forno para preencher a cavidade. Isso por sua vez faz com que o forno esteja menos preenchido no ciclo seguinte, aumentando a distância do nível do forno até o topo da cavidade para o ciclo seguinte.

# CURVA DE PRESSÃO

## Compensação

4ª injeção



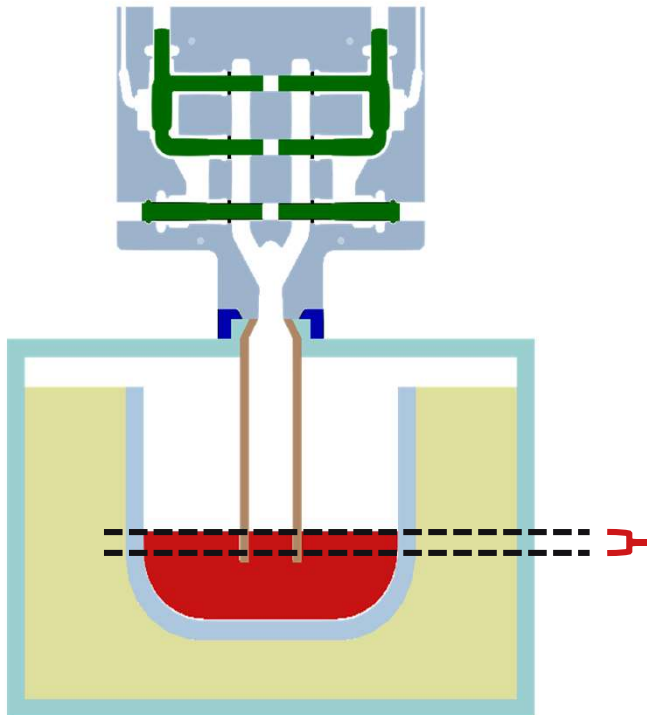
Quantidade de metal  
do forno necessária  
para realizar uma  
injeção

A cada injeção, é utilizado uma certa quantidade de metal do forno para preencher a cavidade. Isso por sua vez faz com que o forno esteja menos preenchido no ciclo seguinte, aumentando a distância do nível do forno até o topo da cavidade para o ciclo seguinte.

# CURVA DE PRESSÃO

## Compensação

5ª injeção



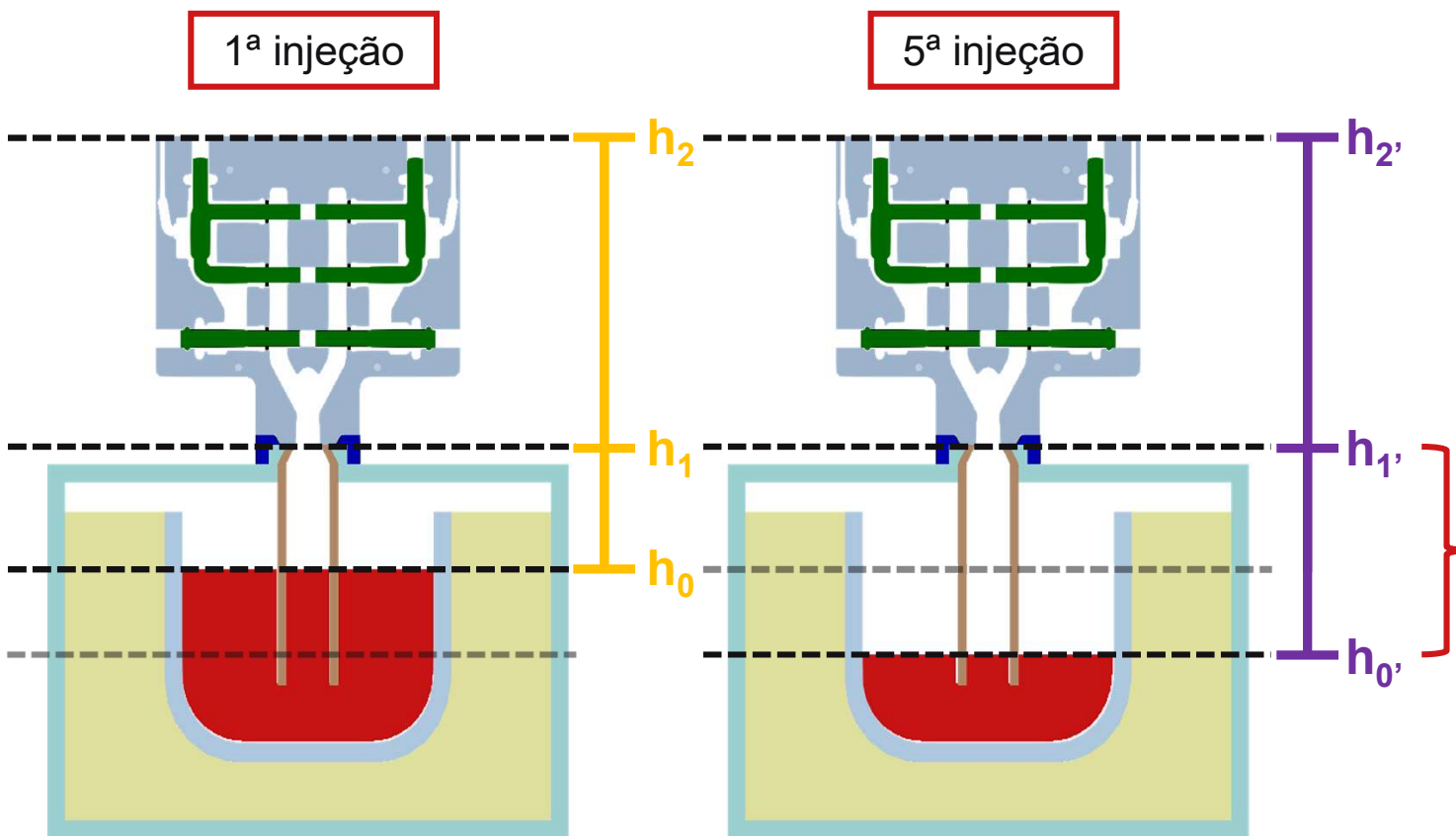
Quantidade de metal  
do forno necessária  
para realizar uma  
injeção

A cada injeção, é utilizado uma certa quantidade de metal do forno para preencher a cavidade. Isso por sua vez faz com que o forno esteja menos preenchido no ciclo seguinte, aumentando a distância do nível do forno até o topo da cavidade para o ciclo seguinte.



# CURVA DE PRESSÃO

## Compensação

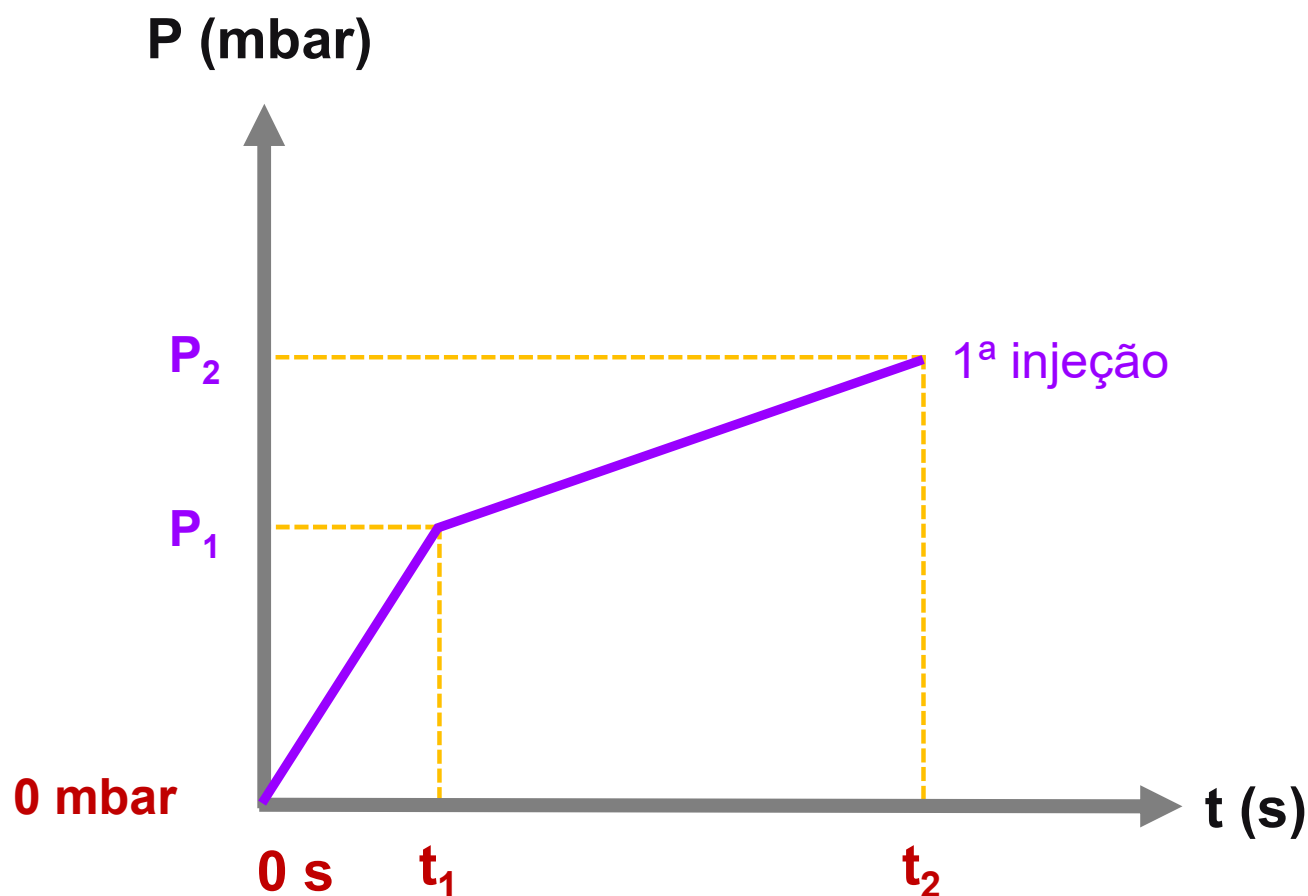


A cada injeção, é utilizado uma certa quantidade de metal do forno para preencher a cavidade. Isso por sua vez faz com que o forno esteja menos preenchido no ciclo seguinte, aumentando a distância do nível do forno até o topo da cavidade para o ciclo seguinte.

Aumento da distância que o metal precisa percorrer ao longo do tubo pescador com o forno mais vazio aumenta a coluna de metal no nível de metal no forno → **Aumento das pressões necessárias na curva de pressão!**

# CURVA DE PRESSÃO

## Compensação

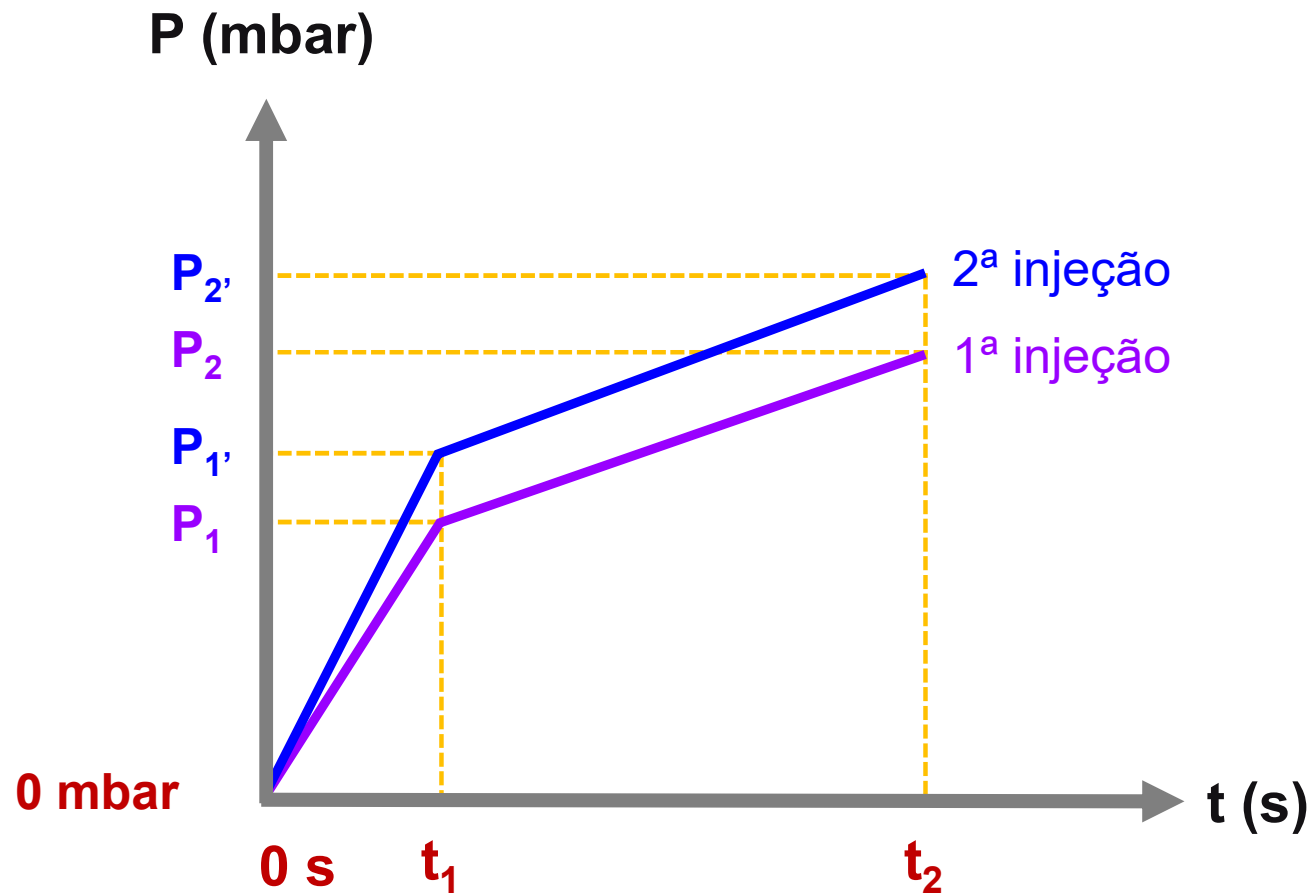


A cada nova injeção é preciso aumentar os valores de pressão de forma a garantir o enchimento do sistema.

Esse ajuste é chamado de compensação. A maior parte das máquinas injetoras de baixa pressão modernas já realizam este ajuste de forma automática com base na medição do peso do metal remanescente dentro do forno.

# CURVA DE PRESSÃO

## Compensação



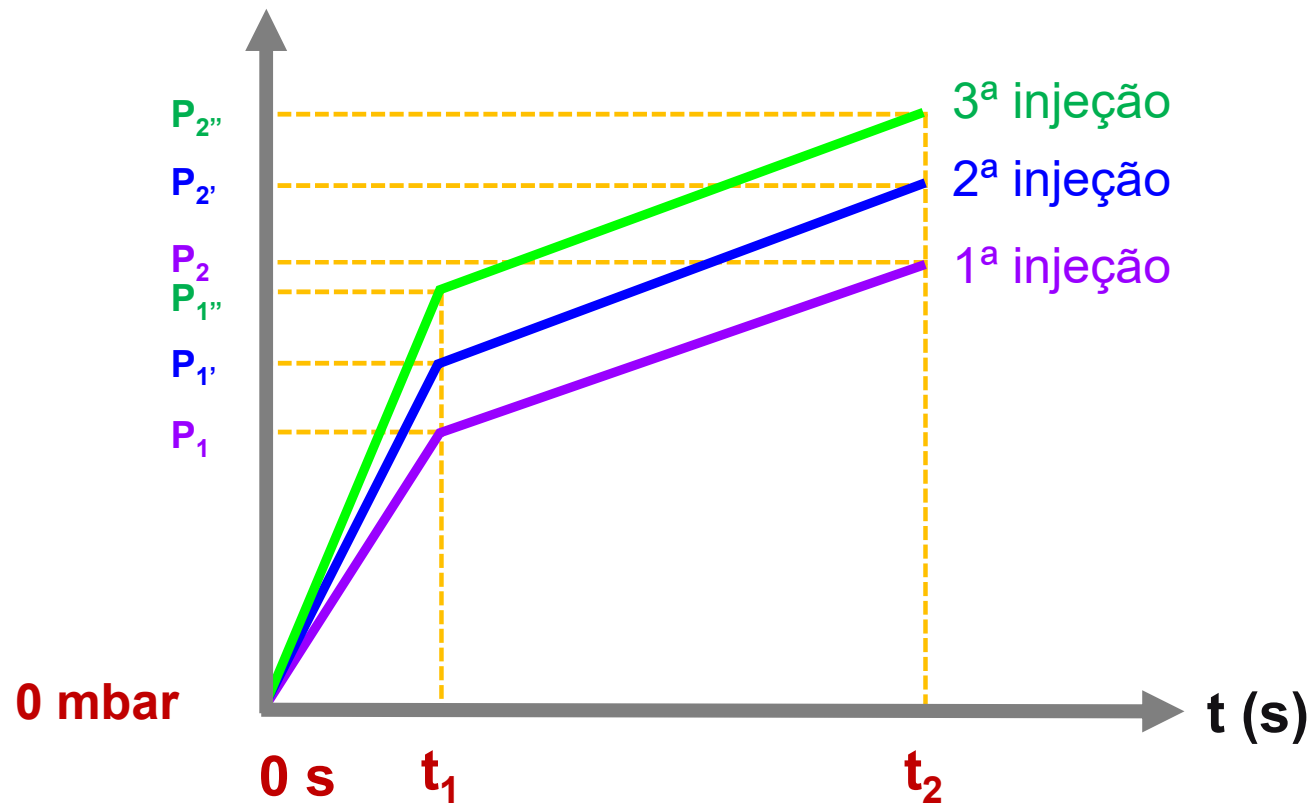
A cada nova injeção é preciso aumentar os valores de pressão de forma a garantir o enchimento do sistema.

Esse ajuste é chamado de compensação. A maior parte das máquinas injetoras de baixa pressão modernas já realizam este ajuste de forma automática com base na medição do peso do metal remanescente dentro do forno.

# CURVA DE PRESSÃO

## Compensação

P (mbar)



A cada nova injeção é preciso aumentar os valores de pressão de forma a garantir o enchimento do sistema.

Esse ajuste é chamado de compensação. A maior parte das máquinas injetoras de baixa pressão modernas já realizam este ajuste de forma automática com base na medição do peso do metal remanescente dentro do forno.

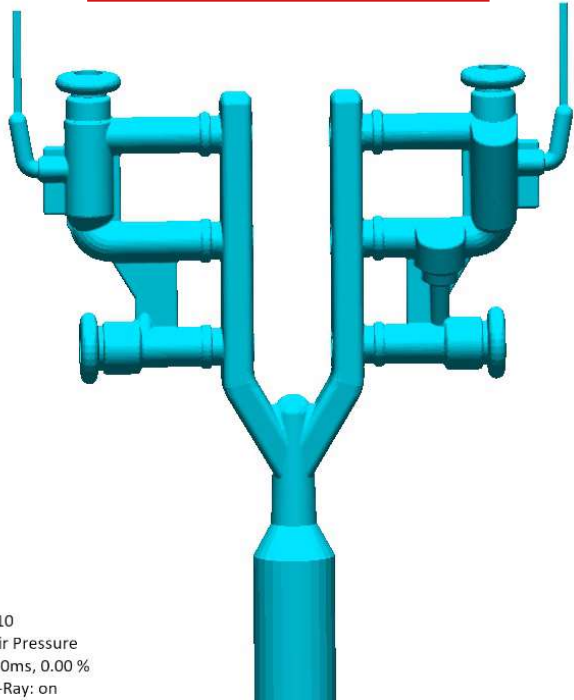
# Saídas de ar na ferramenta

# SAÍDAS DE AR

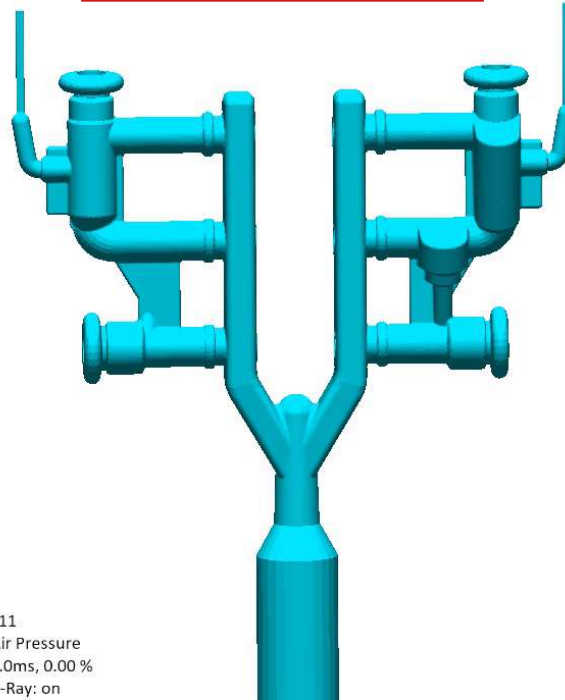
## Extração de ar da ferramenta durante o enchimento

- O volume de ar interno na ferramenta precisa ser extraído à medida em que a ferramenta é preenchida de metal, caso contrário o ar é comprimido, gerando um efeito de contrapressão que dificulta e retarda o preenchimento da ferramenta.

Área de ventilação  
adequada



Área de ventilação  
insuficiente

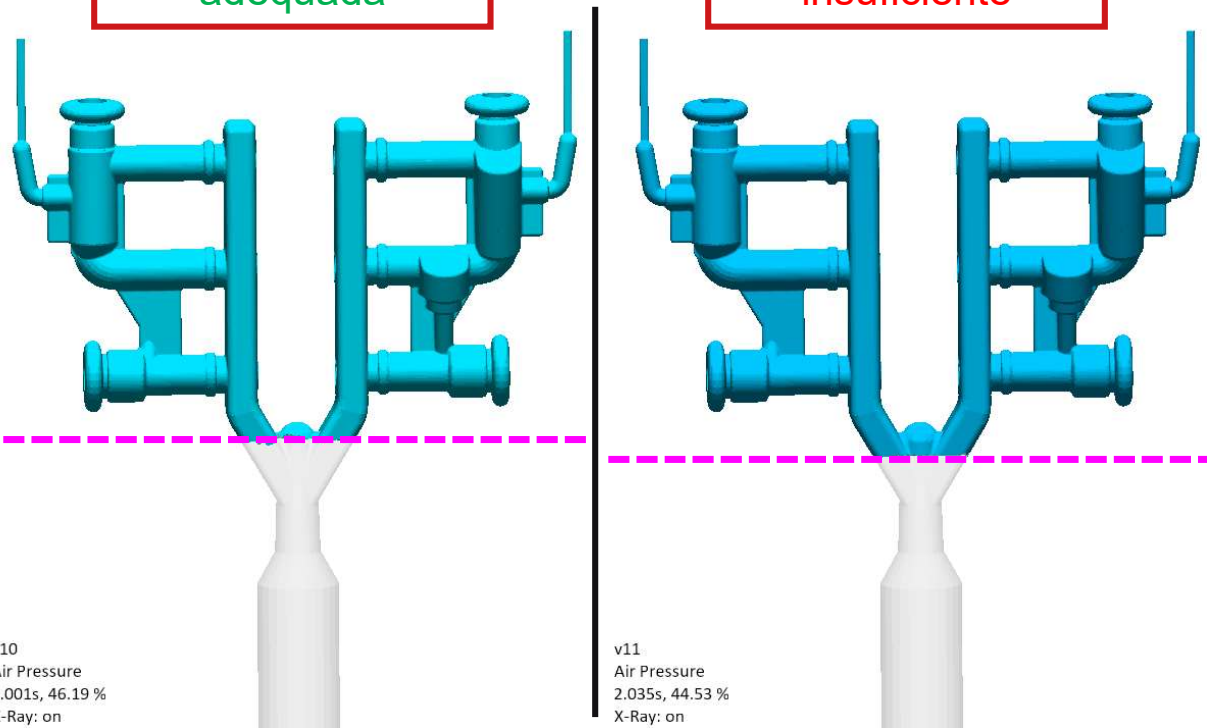


# SAÍDAS DE AR

## Extração de ar da ferramenta durante o enchimento

Área de ventilação  
adequada

Área de ventilação  
insuficiente



- O volume de ar interno na ferramenta precisa ser extraído à medida em que a ferramenta é preenchida de metal, caso contrário o ar é comprimido, gerando um efeito de contrapressão que dificulta e retarda o preenchimento da ferramenta.

O ar do interior do molde quando comprimido atua como uma mola, tentando empurrar o metal da cavidade de volta para o forno!



# SAÍDAS DE AR

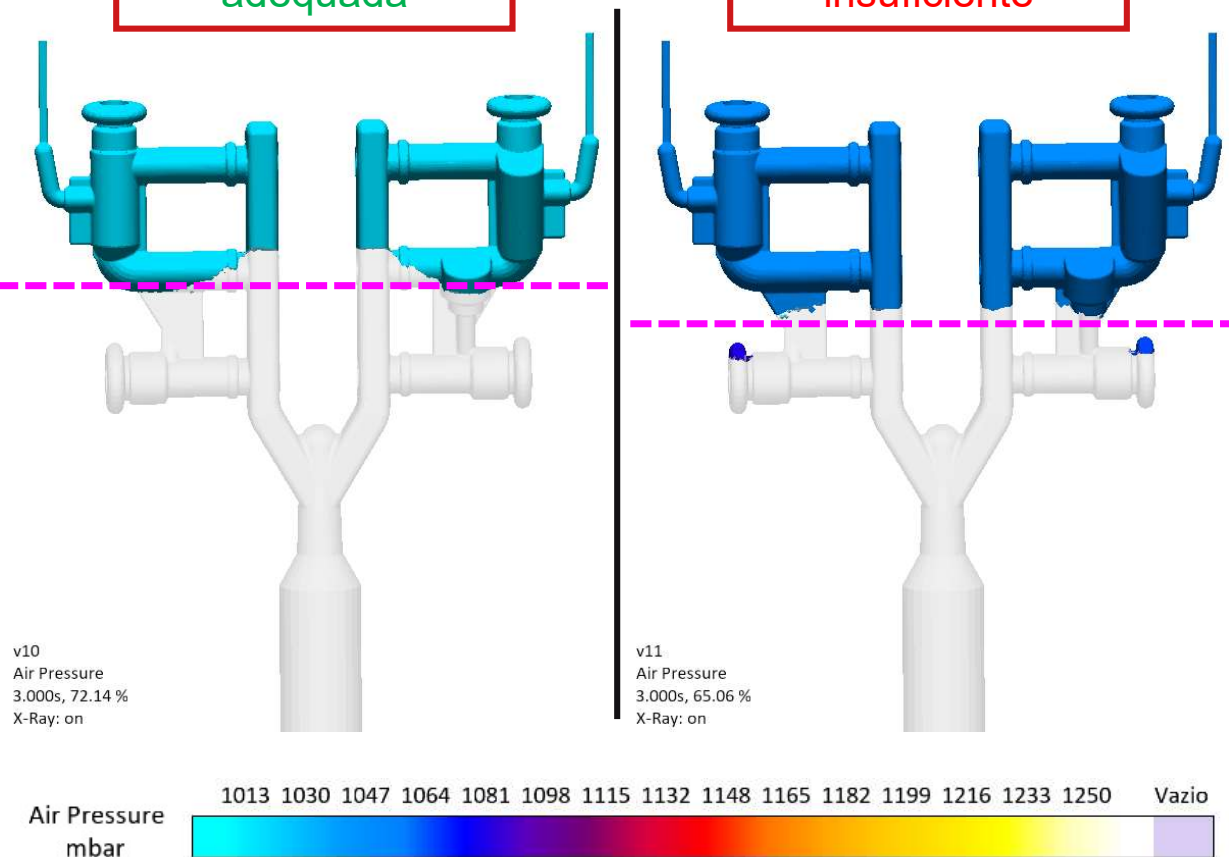
## Extração de ar da ferramenta durante o enchimento

Área de ventilação  
adequada

Área de ventilação  
insuficiente

- O volume de ar interno na ferramenta precisa ser extraído à medida em que a ferramenta é preenchida de metal, caso contrário o ar é comprimido, gerando um efeito de contrapressão que dificulta e retarda o preenchimento da ferramenta.

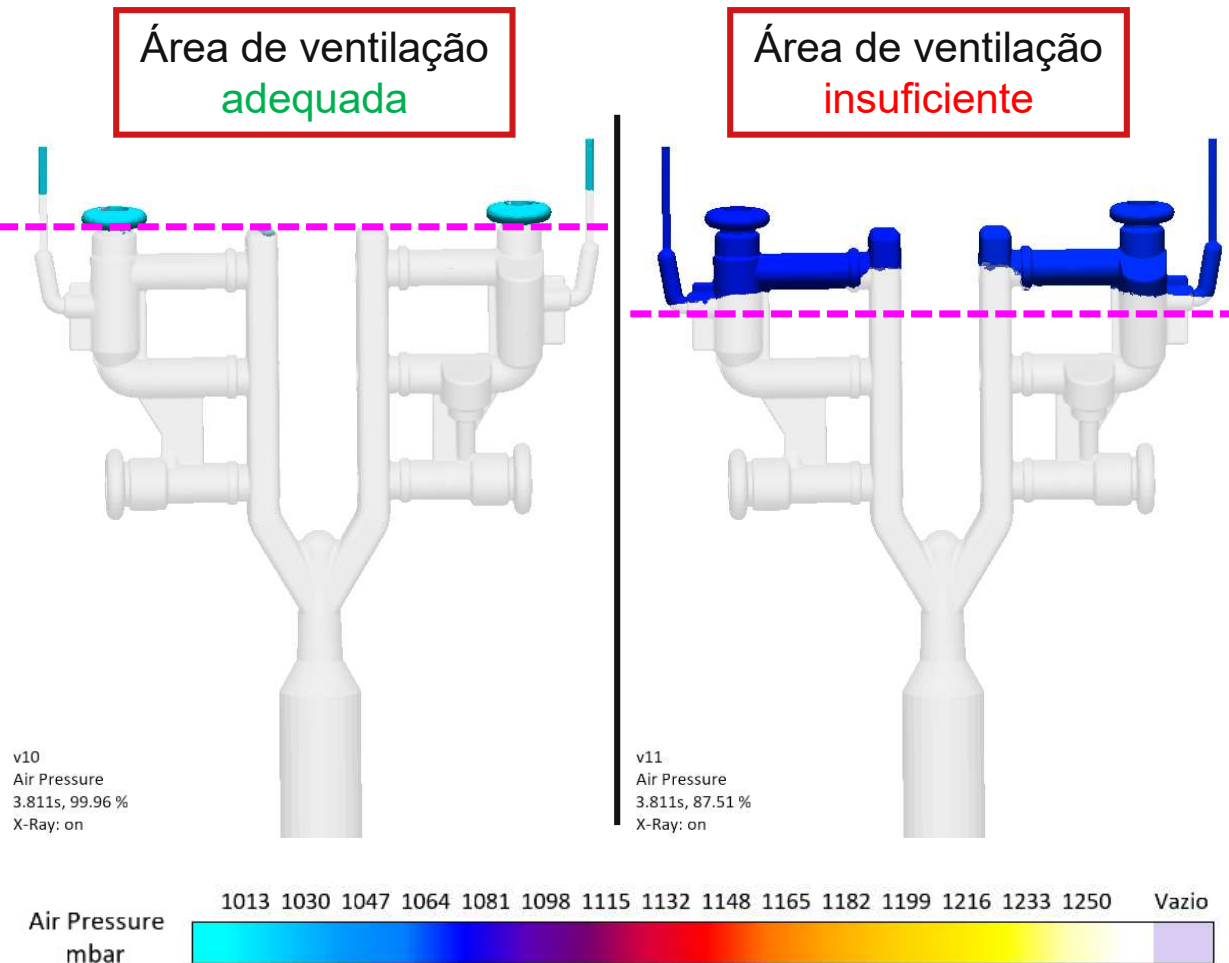
O ar do interior do molde quando comprimido atua como uma mola, tentando empurrar o metal da cavidade de volta para o forno!



# SAÍDAS DE AR

## Extração de ar da ferramenta durante o enchimento

- O volume de ar interno na ferramenta precisa ser extraído à medida em que a ferramenta é preenchida de metal, caso contrário o ar é comprimido, gerando um efeito de contrapressão que dificulta e retarda o preenchimento da ferramenta.



O ar do interior do molde quando comprimido atua como uma mola, tentando empurrar o metal da cavidade de volta para o forno!

# SAÍDAS DE AR

## Extração de ar da ferramenta durante o enchimento

Área de ventilação  
adequada

Área de ventilação  
insuficiente

- O volume de ar interno na ferramenta precisa ser extraído à medida em que a ferramenta é preenchida de metal, caso contrário o ar é comprimido, gerando um efeito de contrapressão que dificulta e retarda o preenchimento da ferramenta.

O ar do interior do molde quando comprimido atua como uma mola, tentando empurrar o metal da cavidade de volta para o forno!

Tempo de enchimento  
1,6X mais longo!

v10  
Air Pressure  
3.811s, 99.96 %  
X-Ray: on

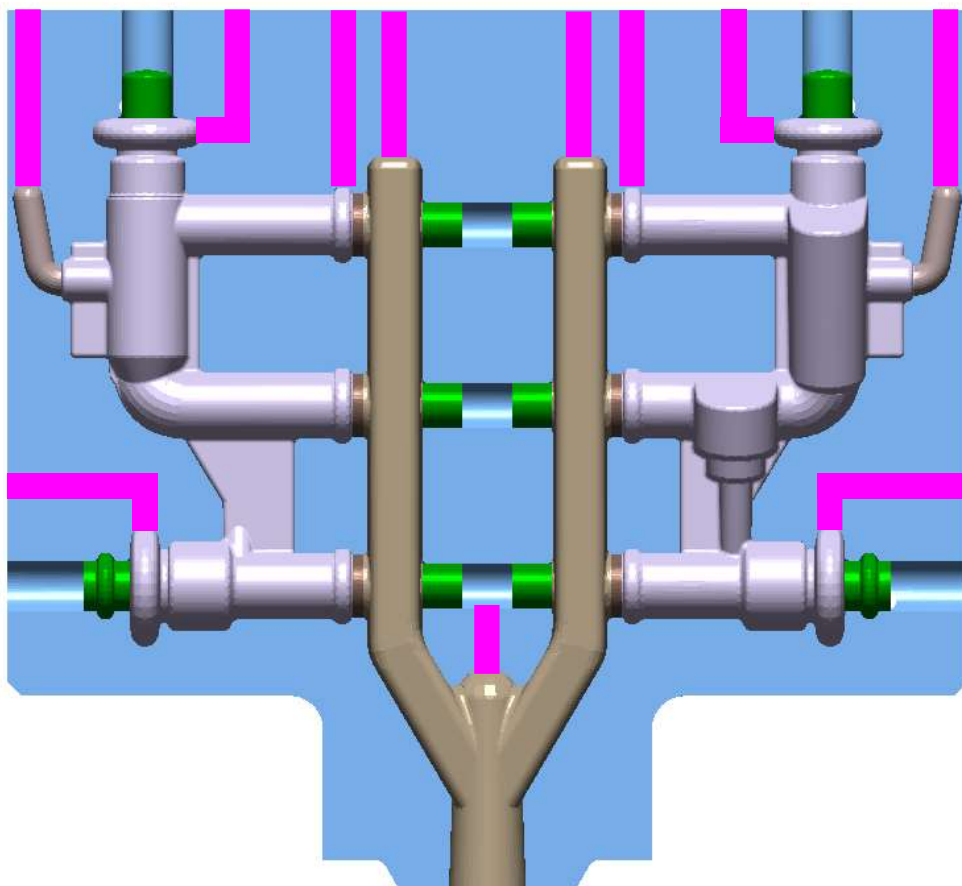
v11  
Air Pressure  
6.064s, 99.96 %  
X-Ray: on

Air Pressure  
mbar



# SAÍDAS DE AR

## Extração de ar da ferramenta durante o enchimento

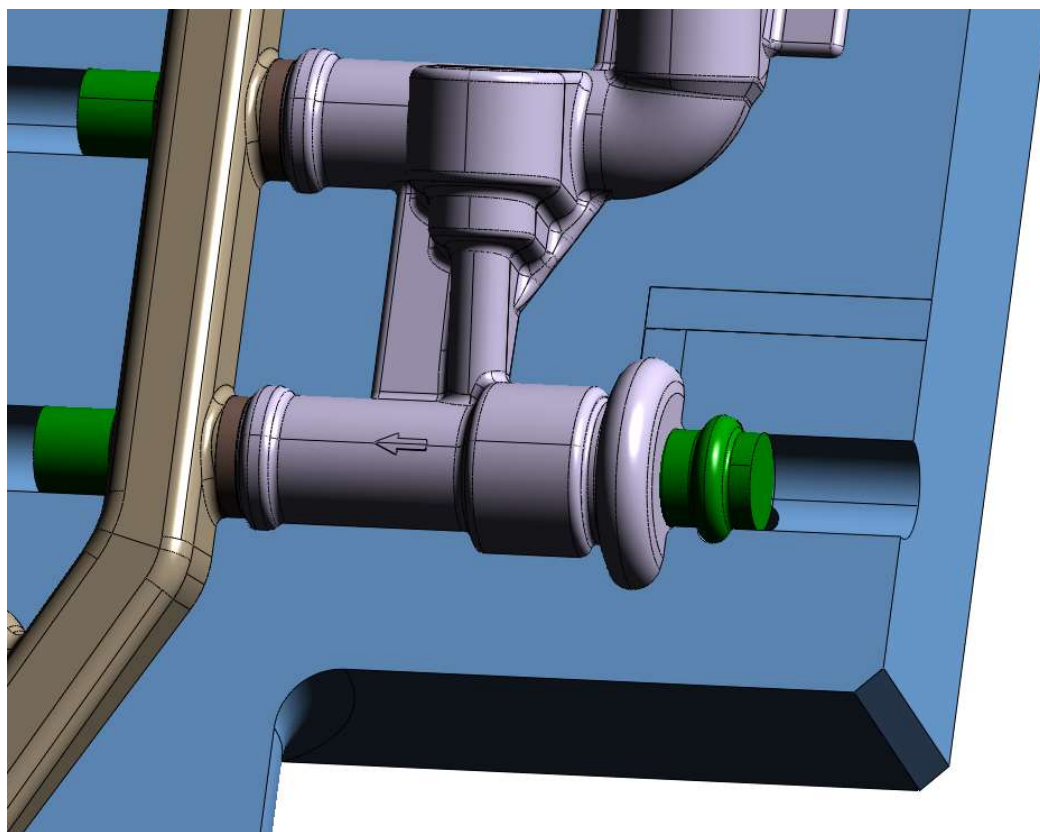


- A extração de ar pode ser feita com o uso de rebaixos ao longo da partição da ferramenta, que conectam a cavidade à atmosfera externa ou com uso de pinos, com a extração de ar ocorrendo pela folga entre o pino e o furo.

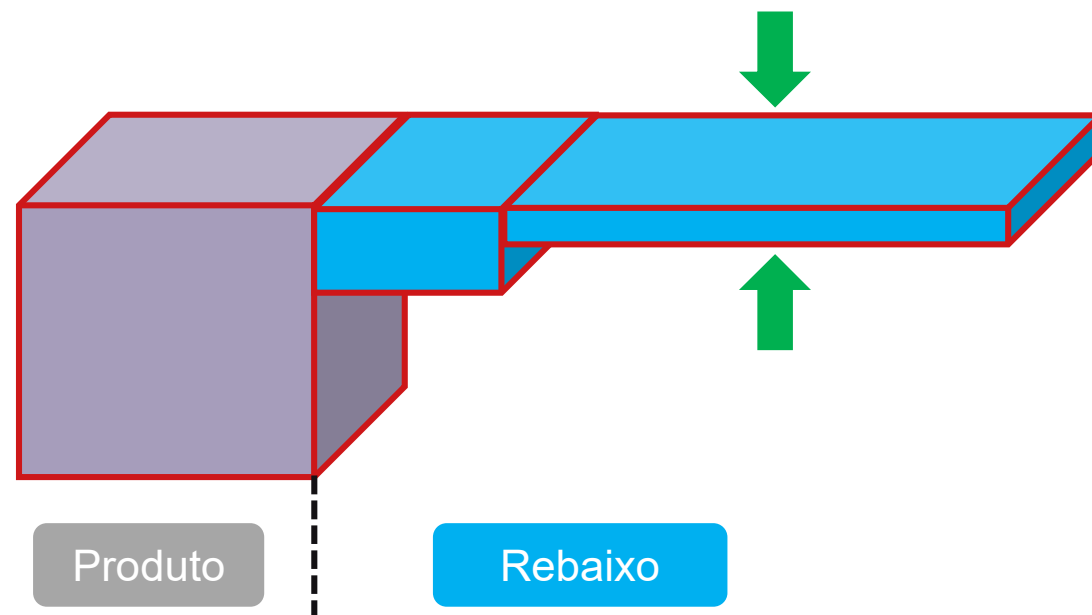
Saídas de ar posicionadas em regiões com tendência de isolar ar durante o enchimento

# SAÍDAS DE AR

## Extração de ar da ferramenta durante o enchimento

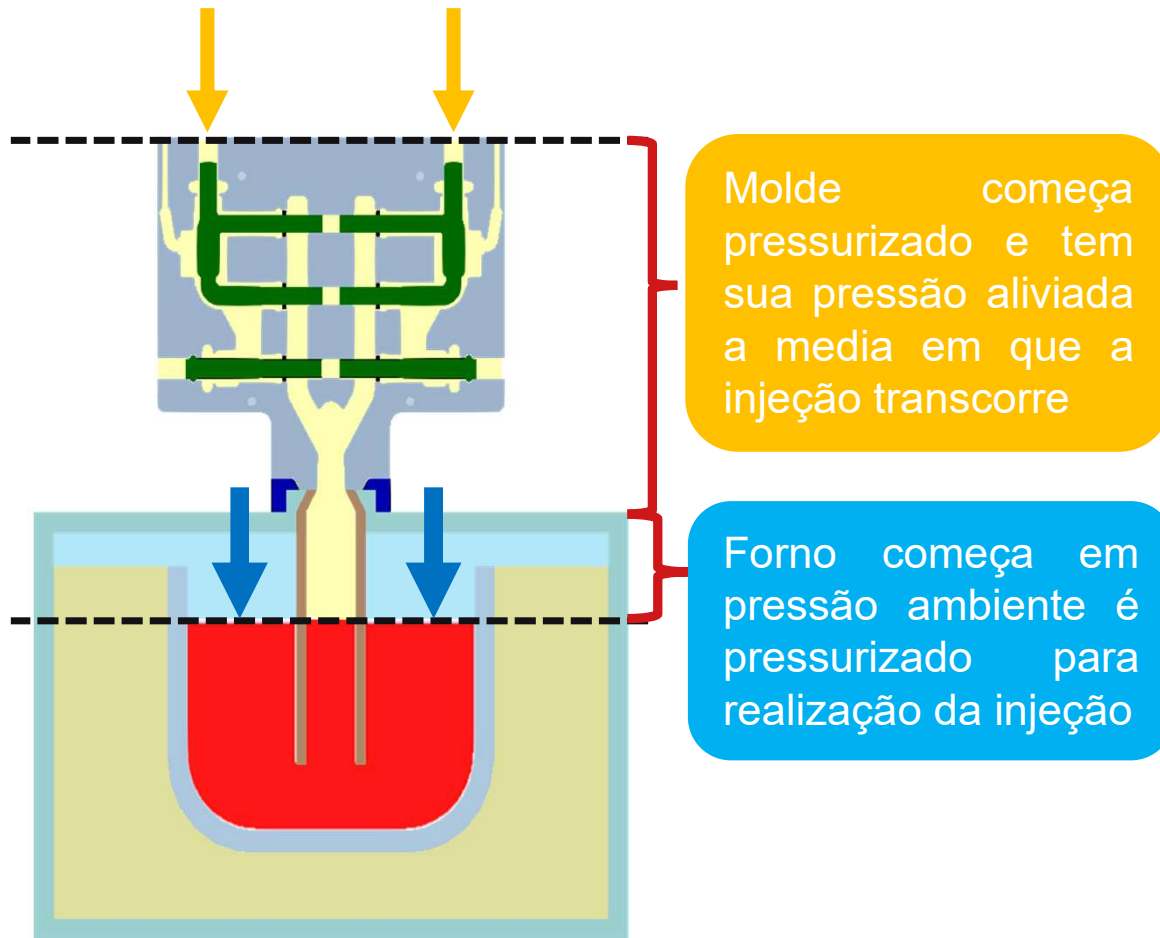


Espessura pequena do rebaixo ( $E = 0,1 \text{ mm}$  para ligas de alumínio) garante a solidificação do metal antes de ele chegar na borda da ferramenta



# SAÍDAS DE AR

## Processo CPC (fundição sob contrapressão)



- O efeito de contrapressão de ar na cavidade pode ser usado em favor do enchimento, de forma a “frear” velocidades de enchimento elevadas.
- Esse efeito é utilizado no processo de CPC (counter pressure casting), uma evolução tecnológica do processo de LPDC.
- No processo de CPC, tanto o molde quanto o forno são pressurizados, sendo que a medida em que o enchimento é feito, a pressão do molde é lentamente aliviada.



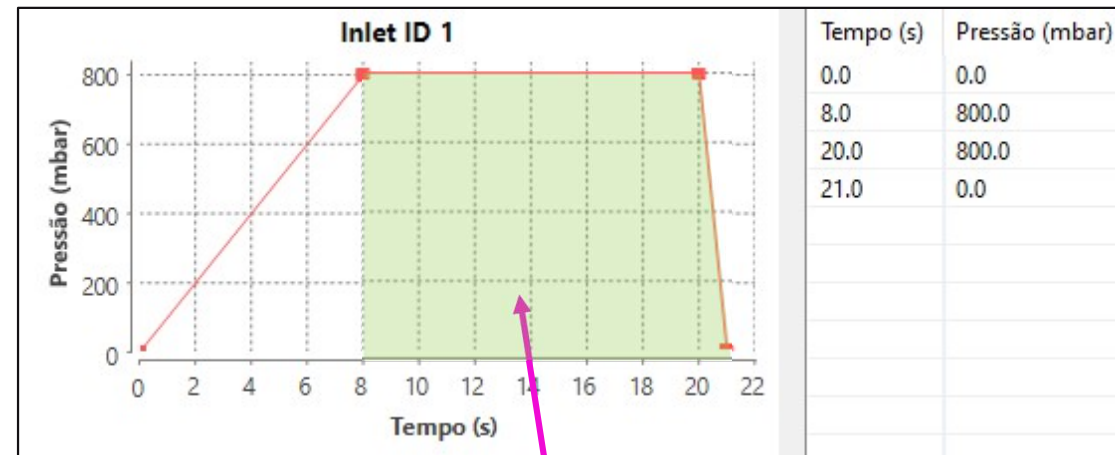
# Solidificação no processo de baixa pressão



# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Papel da curva de pressão durante a solidificação

- Após o final do enchimento, é mantida uma pressão elevada no forno durante a solidificação da peça para continuamente enviar material do forno para a peça, de forma a compensar a contração do metal dentro da cavidade e evitar assim formação de rechupes.
- As pressões máximas para compactação dependem do recurso do forno, ficando na ordem de 800 a 1000 mbar.



Solidificação

# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Papel da curva de pressão durante a solidificação

- As pressões de recalque no processo de injeção em baixa pressão (LPDC) são pelo menos 2 ordens de grandeza menores do que as do processo de injeção em alta pressão (HPDC).
- Tendo isso em vista, a compactação no processo de LPDC tem efeito menos significativo na redução da formação de rechupes.

Pressões típicas de compactação no processo de HPDC:

- 200 bar a 2000 bar



Pressões de compactação mais altas por um fator de 2 a 3 ordens de grandeza!

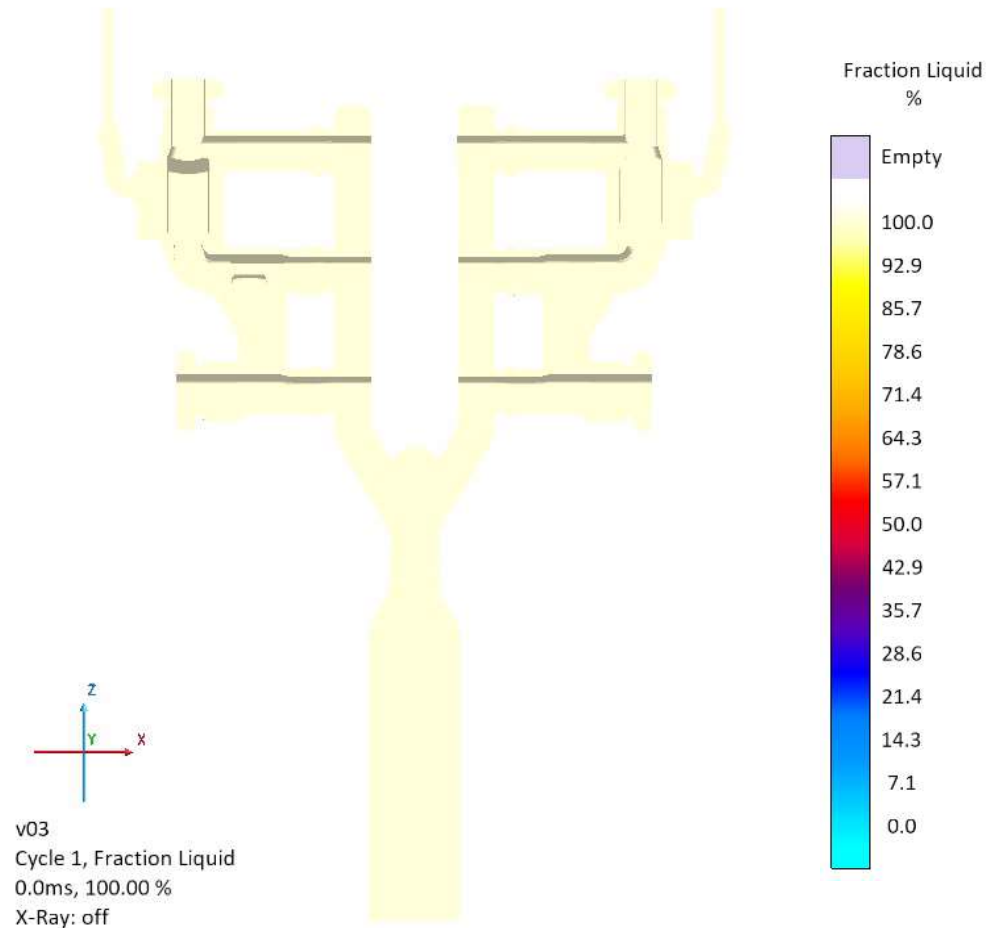
Pressões típicas de compactação no processo de LPDC:

- 500 mbar (0,5 bar) a 1000 mbar (1 bar)

# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

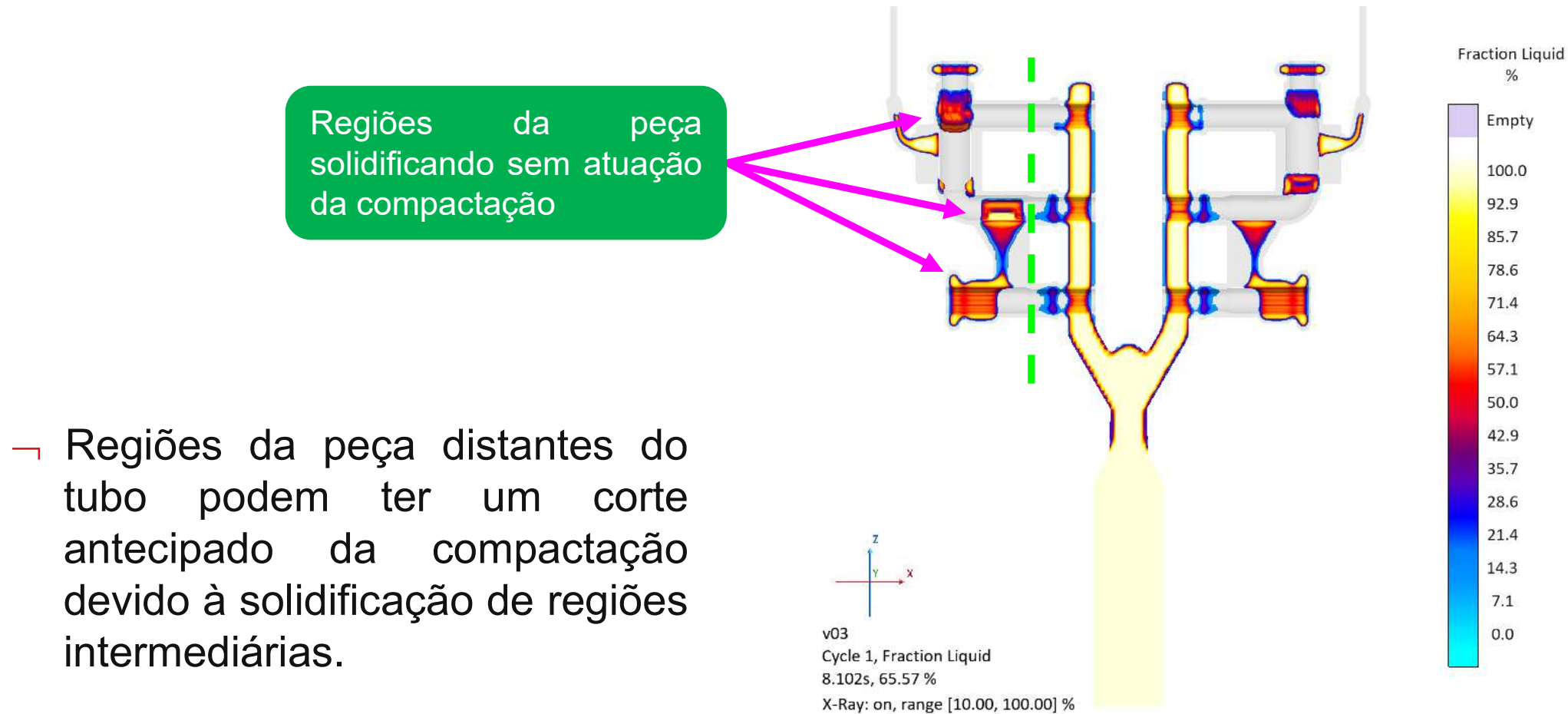
## Papel da curva de pressão durante a solidificação

- A compactação atua sobre o produto até o instante em que o forno é despressurizado, momento no qual o metal ainda líquido em contato com o tubo pescador volta para o forno.
- Regiões da peça distantes do tubo podem ter um corte antecipado da compactação devido à solidificação de regiões intermediárias.



# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Papel da curva de pressão durante a solidificação

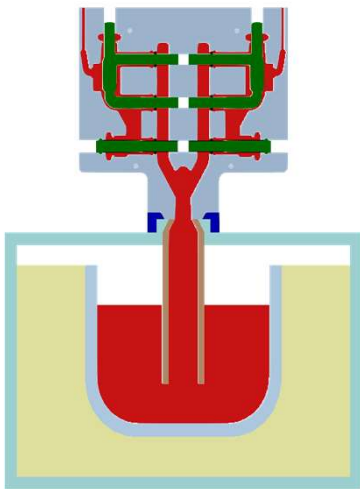


- Regiões da peça distantes do tubo podem ter um corte antecipado da compactação devido à solidificação de regiões intermediárias.

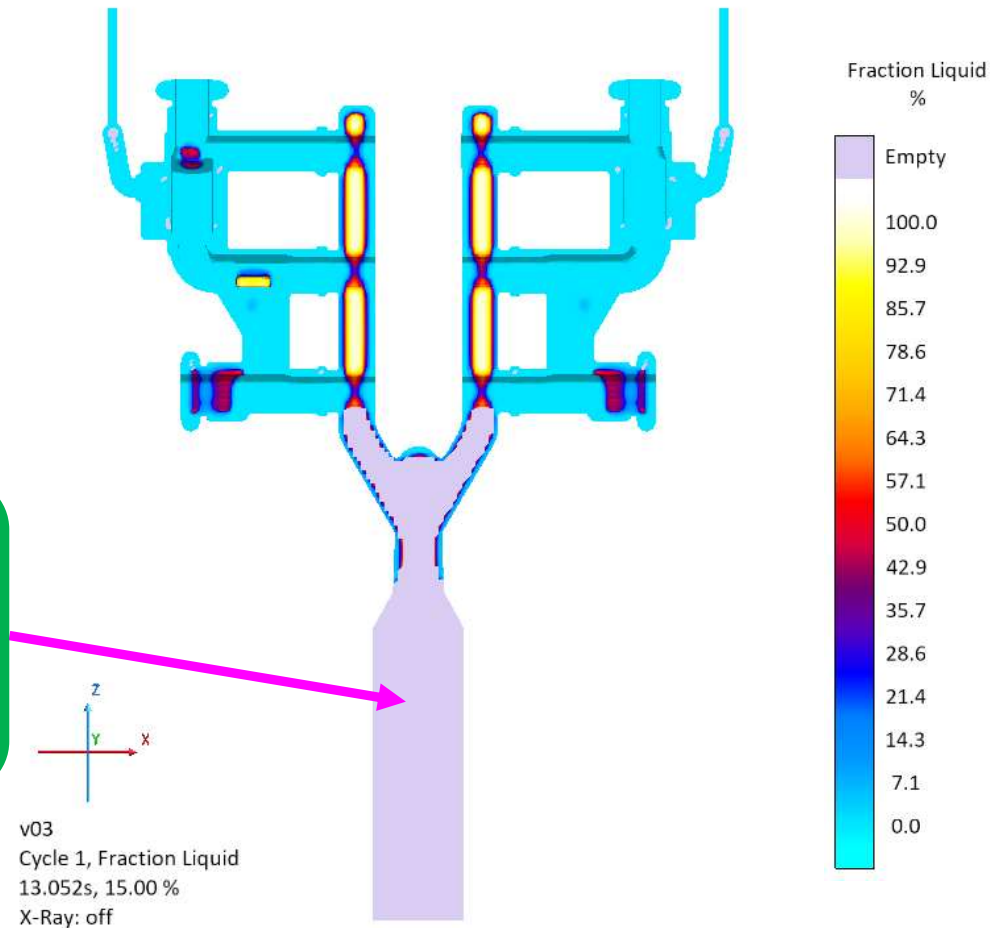
# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

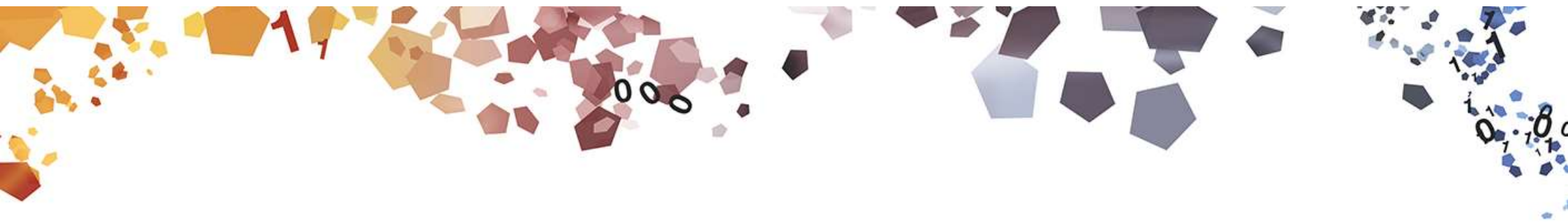
## Uso de massalotes

- A compactação atua sobre o produto até o instante em que o forno é despressurizado, momento no qual o metal ainda líquido em contato com o tubo pescador volta para o forno.



Metal líquido dentro dos canais e do tubo pescador volta para dentro do forno após a despressurização do mesmo.





# USO DE MASSALOTES



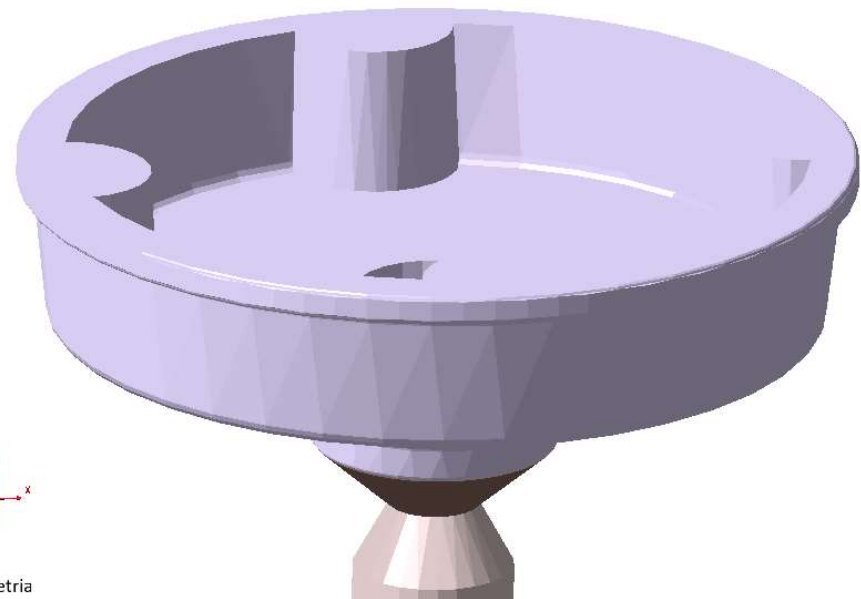
# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Uso de massalotes

- Em situações onde a geometria da peça não permite a plena alimentação com metal vindo do tubo pescador devido à solidificação das paredes intermediárias da peça, pode ser necessária a utilização de massalotes.
- Estes massalotes podem fazer uso de luvas cerâmicas de forma a melhorar a eficiência dos mesmos. Estas luvas são semipermanentes, precisando ser substituídas periodicamente em caso de quebra das mesmas.



v04  
Geometria





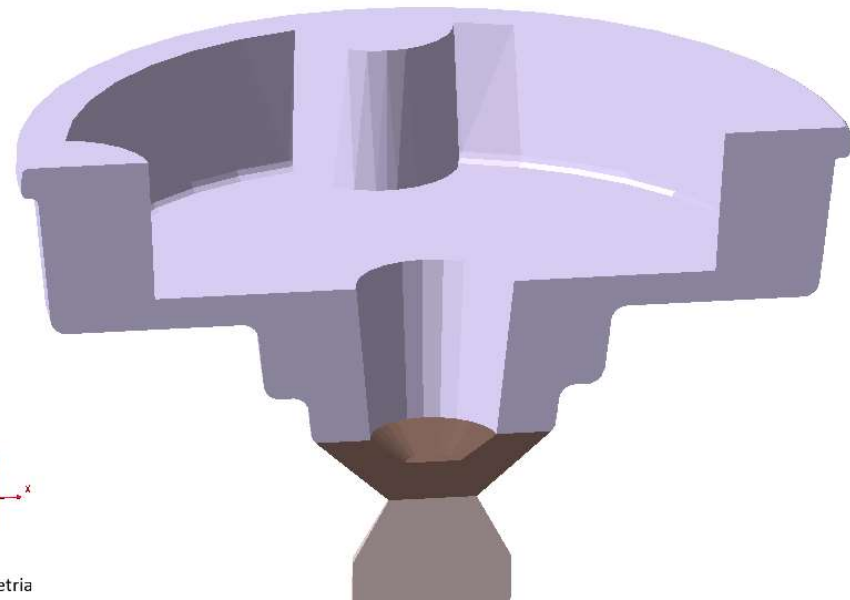
# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Uso de massalotes

- Em situações onde a geometria da peça não permite a plena alimentação com metal vindo do tubo pescador devido à solidificação das paredes intermediárias da peça, pode ser necessária a utilização de massalotes.
- Estes massalotes podem fazer uso de luvas cerâmicas de forma a melhorar a eficiência dos mesmos. Estas luvas são semipermanentes, precisando ser substituídas periodicamente em caso de quebra das mesmas.



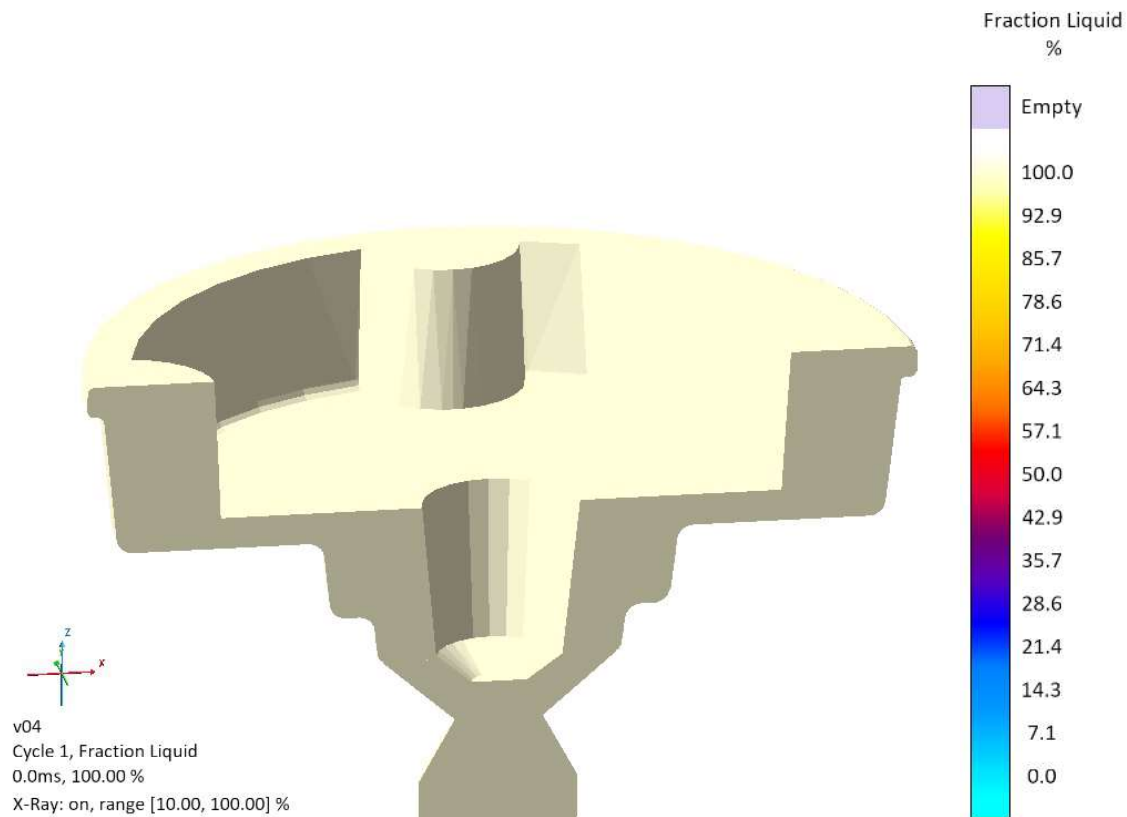
v04  
Geometria



# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Uso de massalotes

- Em situações onde a geometria da peça não permite a plena alimentação com metal vindo do tubo pescador devido à solidificação das paredes intermediárias da peça, pode ser necessária a utilização de massalotes.
- Estes massalotes podem fazer uso de luvas cerâmicas de forma a melhorar a eficiência dos mesmos. Estas luvas são semipermanentes, precisando ser substituídas periodicamente em caso de quebra das mesmas.

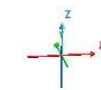


# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Uso de massalotes

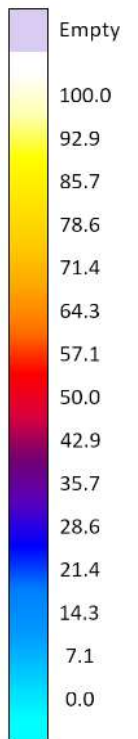
- Em situações onde a geometria da peça não permite a plena alimentação com metal vindo do tubo pescador devido à solidificação das paredes intermediárias da peça, pode ser necessária a utilização de massalotes.
- Estes massalotes podem fazer uso de luvas cerâmicas de forma a melhorar a eficiência dos mesmos. Estas luvas são semipermanentes, precisando ser substituídas periodicamente em caso de quebra das mesmas.

Solidificação das paredes finas corta atuação da compactação para as massas do produto



v04  
Cycle 1, Fraction Liquid  
28.000s, 38.35 %  
X-Ray: on, range [10.00, 100.00] %

Fraction Liquid  
%



# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Uso de massalotes

- Em situações onde a geometria da peça não permite a plena alimentação com metal vindo do tubo pescador devido à solidificação das paredes intermediárias da peça, pode ser necessária a utilização de massalotes.
- Estes massalotes podem fazer uso de luvas cerâmicas de forma a melhorar a eficiência dos mesmos. Estas luvas são semipermanentes, precisando ser substituídas periodicamente em caso de quebra das mesmas.

Rechupes nas bossas decorrente do isolamento de massa sem atuação da compactação



v04  
Ciclo 1, Porosity  
1min 25.0s, 100.00 %  
Raio-X: ligado, range [1.00, 100.00] %

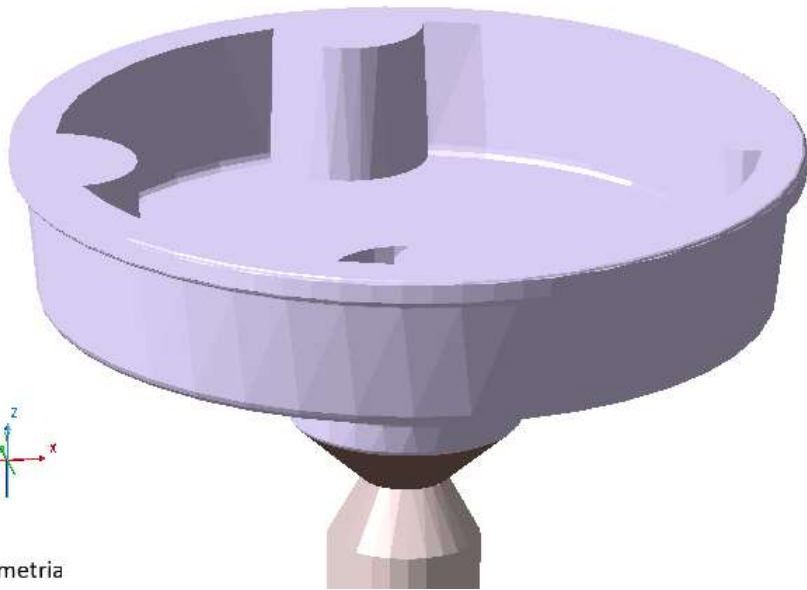
Porosity  
%

Vazio  
100.0  
92.9  
85.7  
78.6  
71.4  
64.3  
57.1  
50.0  
42.9  
35.7  
28.6  
21.4  
14.3  
7.1  
0.0

# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Uso de massalotes

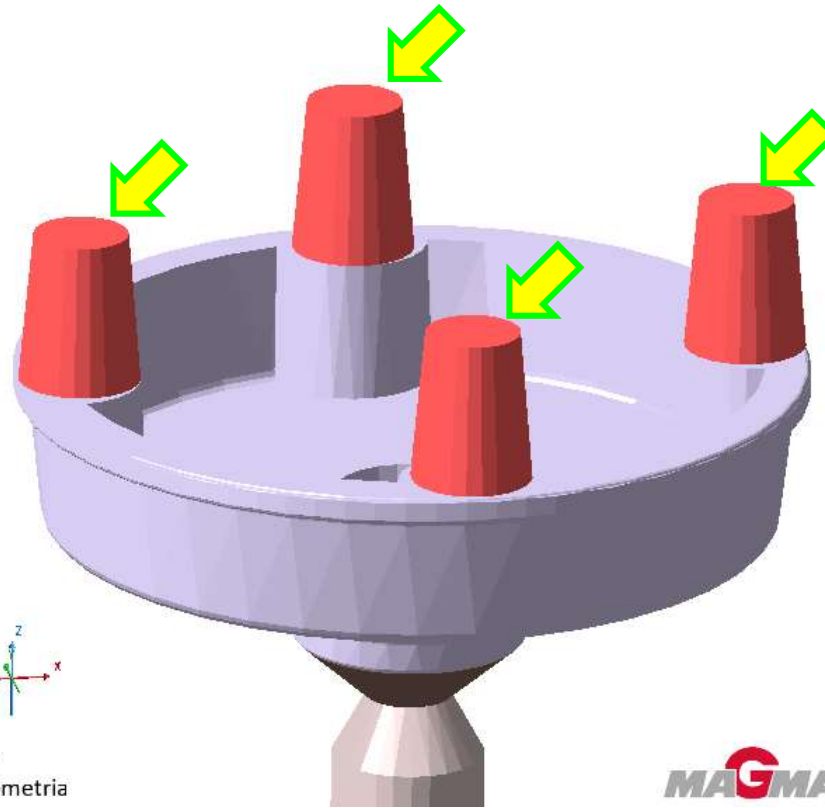
SEM  
massalotes



v04  
Geometria

COM  
massalotes

Massalotes



v05  
Geometria

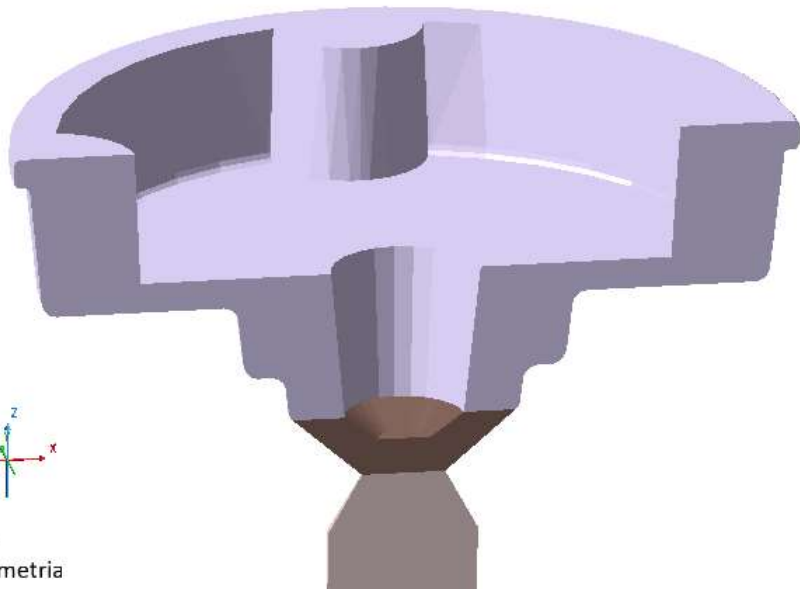
MAGMA

MAGMA

# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Uso de massalotes

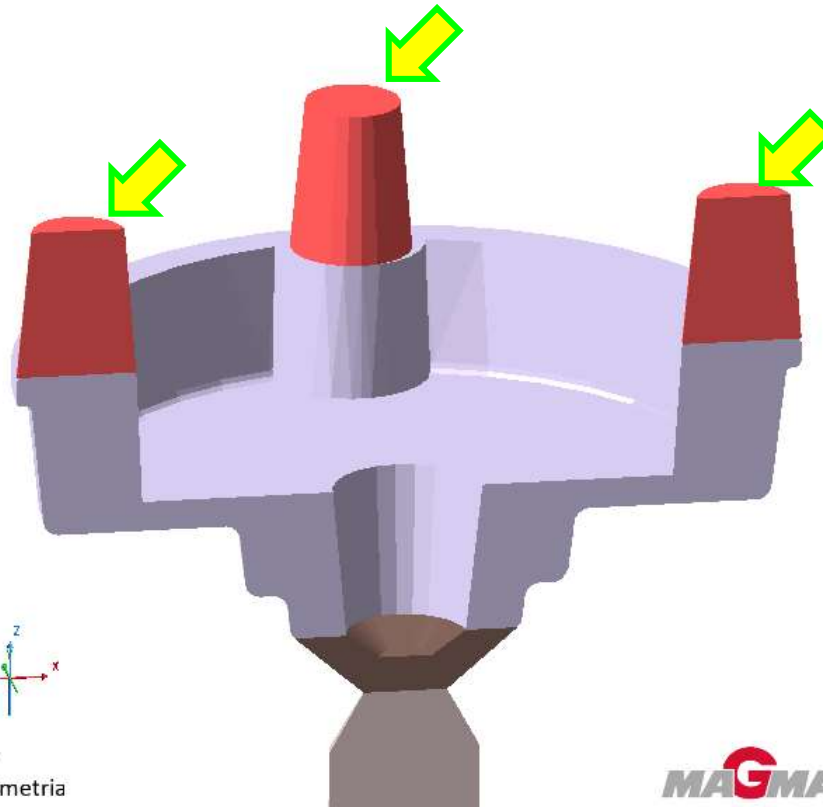
SEM  
massalotes



v04  
Geometria

COM  
massalotes

Massalotes



v05  
Geometria

MAGMA

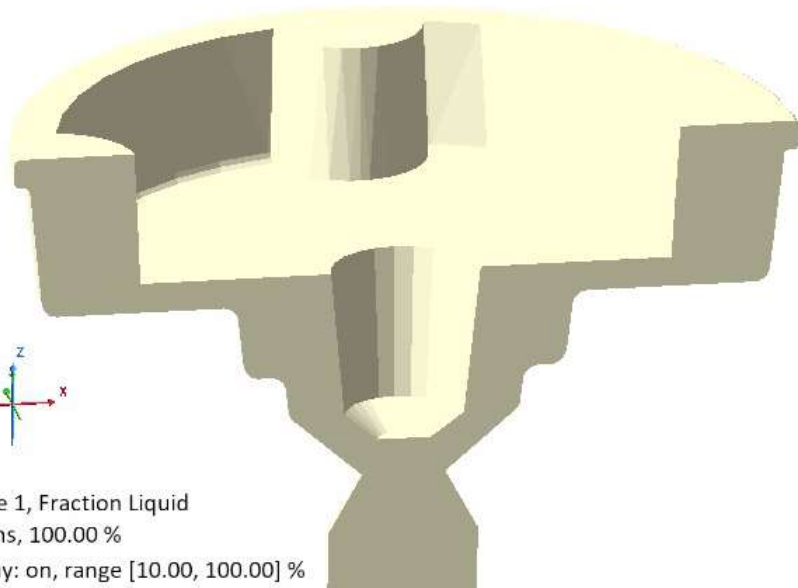
MAGMA



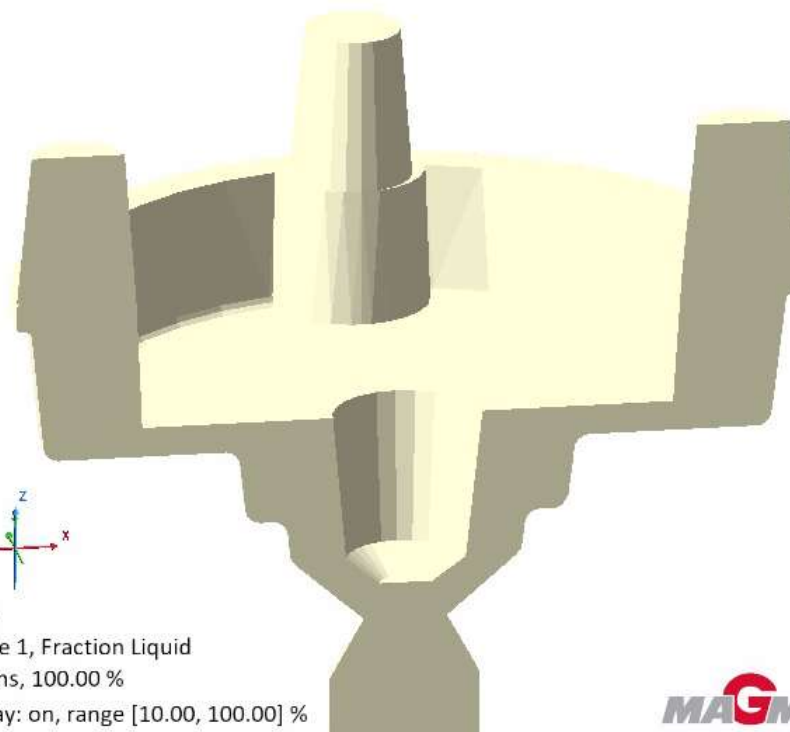
# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Uso de massalotes

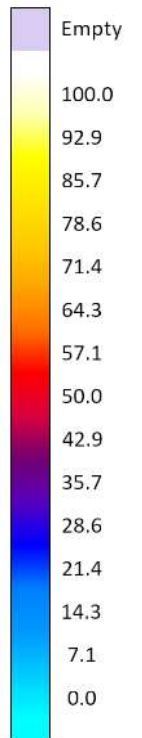
SEM  
massalotes



COM  
massalotes



Fraction Liquid  
%



MAGMA

MAGMA



# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Uso de massalotes

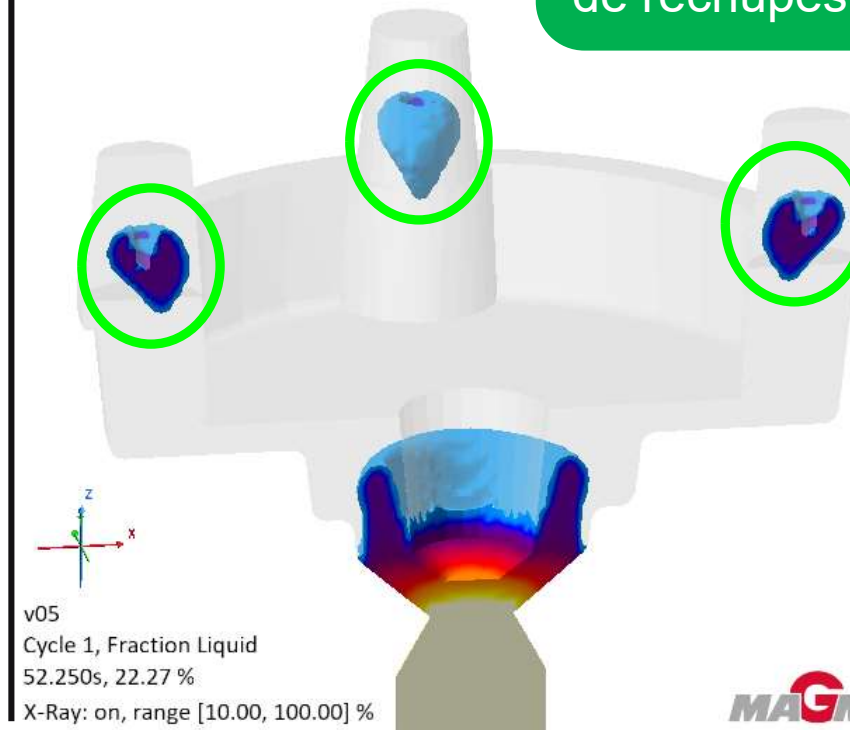
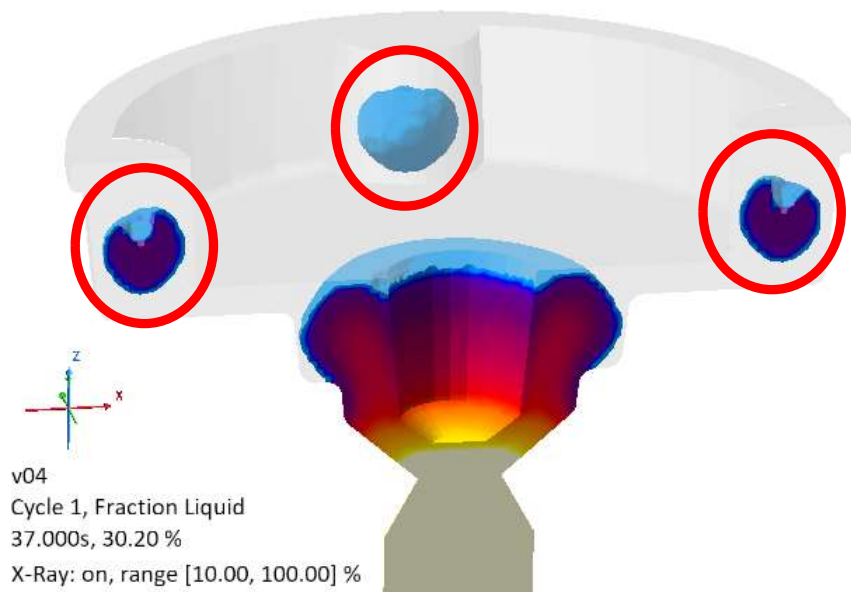
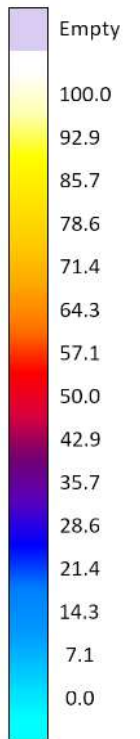
SEM  
massalotes

Isolamentos de  
massa no produto  
que originam  
rechupes

COM  
massalotes

Massalotes  
alimentam a peça,  
evitando a formação  
de rechupes

Fraction Liquid  
%



MAGMA

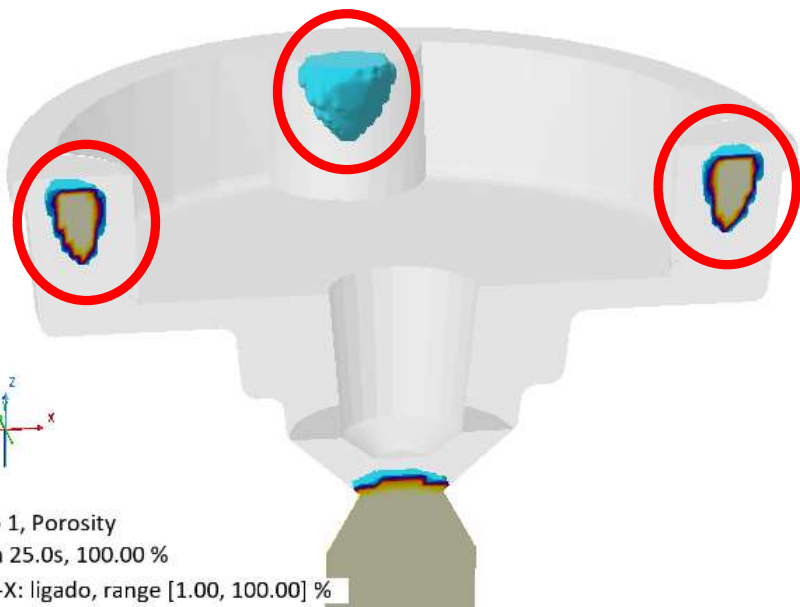
MAGMA

# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Uso de massalotes

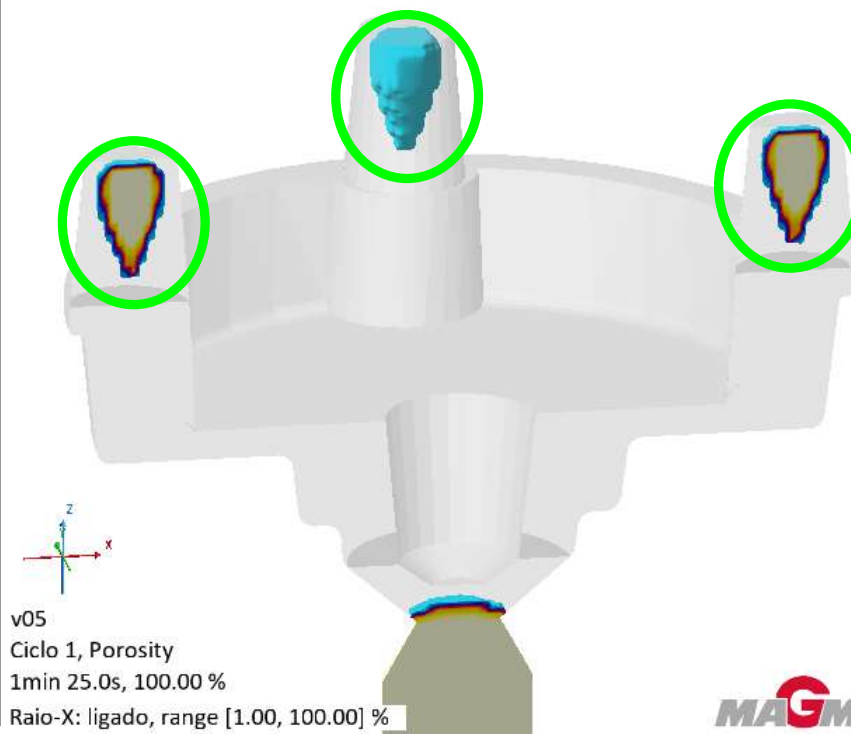
SEM  
massalotes

Rechupes na peça

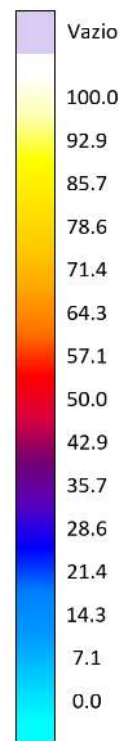


COM  
massalotes

Rechupes ficam no  
massalote, e não na  
peça



Porosity  
%



MAGMA

MAGMA



# USO DE MASSALOTES COM LUVAS CERÂMICAS

# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Massalote COM X SEM luva cerâmica

Massalote **Grande**  
**SEM** Luva cerâmica

R = 84%

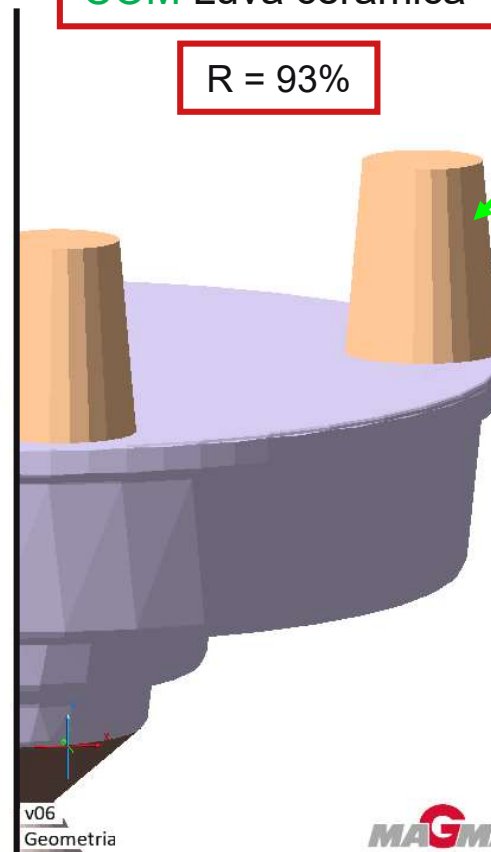
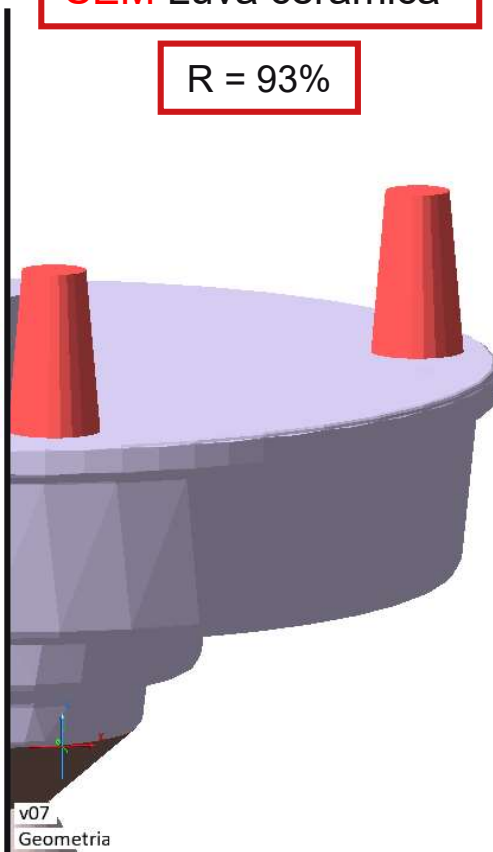
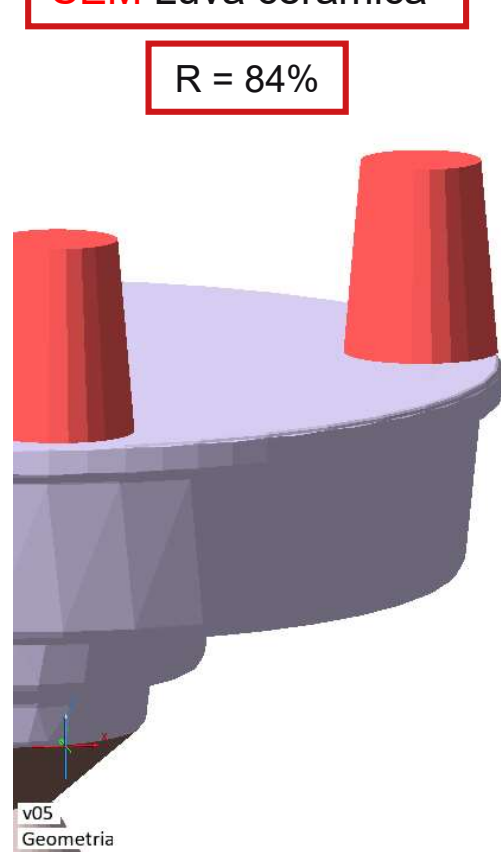
Massalote **pequeno**  
**SEM** Luva cerâmica

R = 93%

Massalote **pequeno**  
**COM** Luva cerâmica

R = 93%

Luva cerâmica



# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Massalote COM X SEM luva cerâmica

Massalote **Grande**  
**SEM** Luva cerâmica

R = 84%

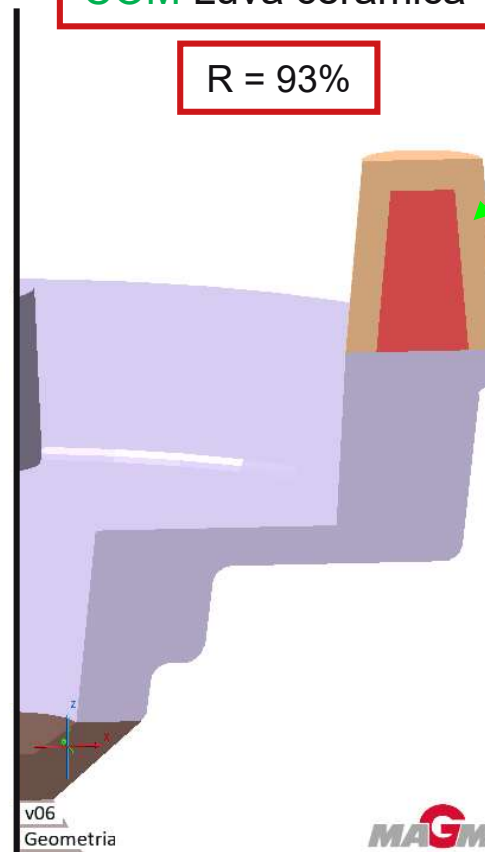
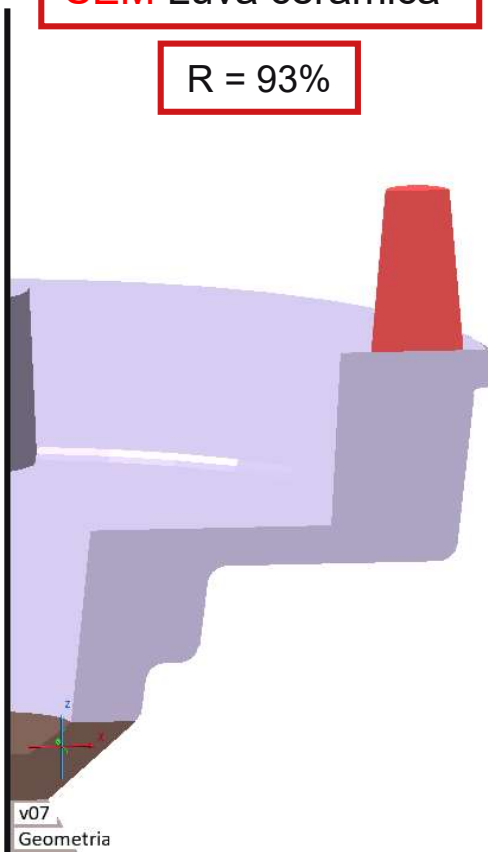
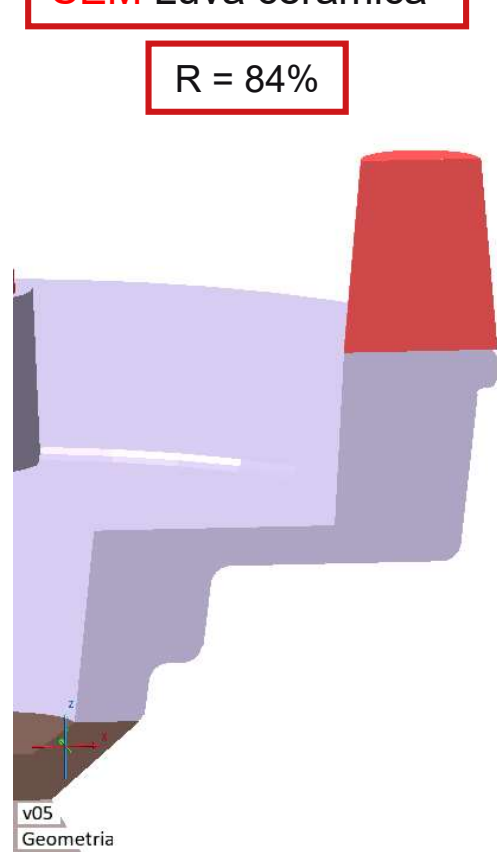
Massalote **pequeno**  
**SEM** Luva cerâmica

R = 93%

Massalote **pequeno**  
**COM** Luva cerâmica

R = 93%

Luva cerâmica



MAGMA

MAGMA

# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Massalote COM X SEM luva cerâmica

Massalote **Grande**  
**SEM** Luva cerâmica

R = 84%

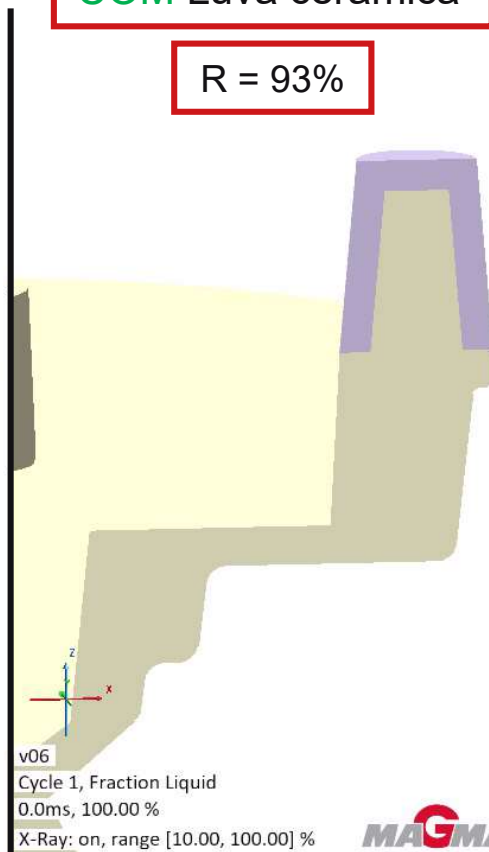
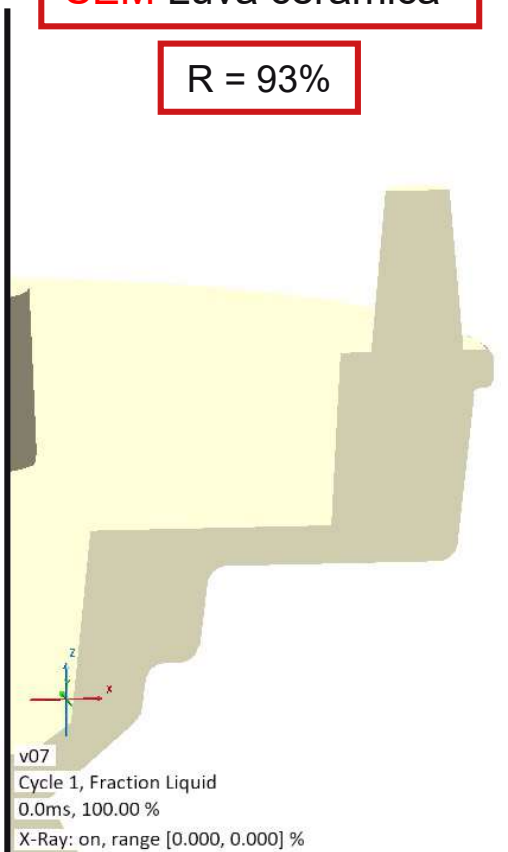
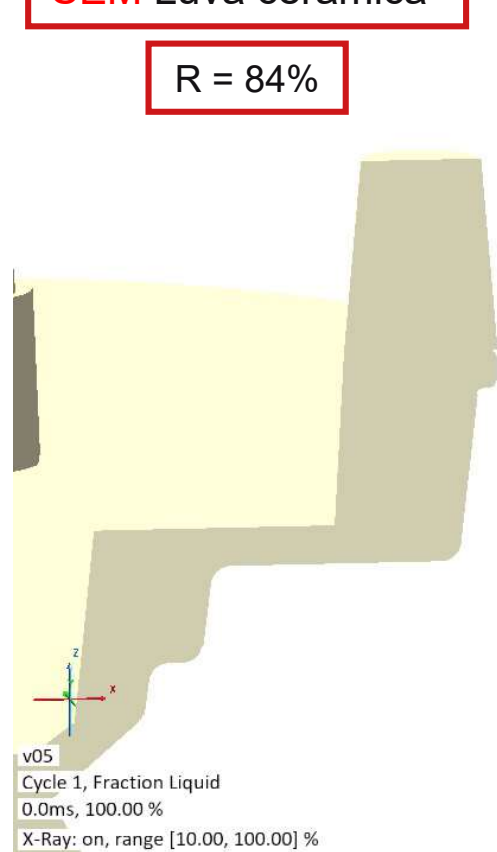
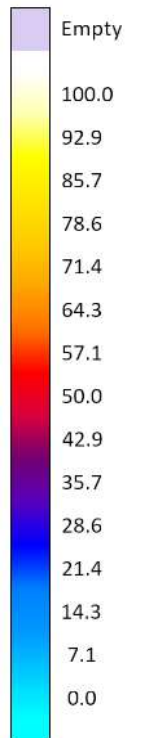
Massalote **pequeno**  
**SEM** Luva cerâmica

R = 93%

Massalote **pequeno**  
**COM** Luva cerâmica

R = 93%

Fraction Liquid  
%



MAGMA

MAGMA



# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Massalote COM X SEM luva cerâmica

Massalote **Grande**  
**SEM** Luva cerâmica

R = 84%

Massalote **pequeno**  
**SEM** Luva cerâmica

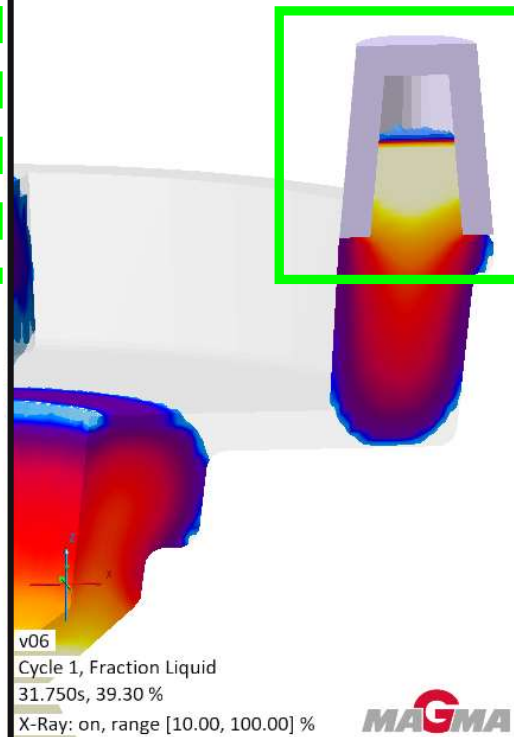
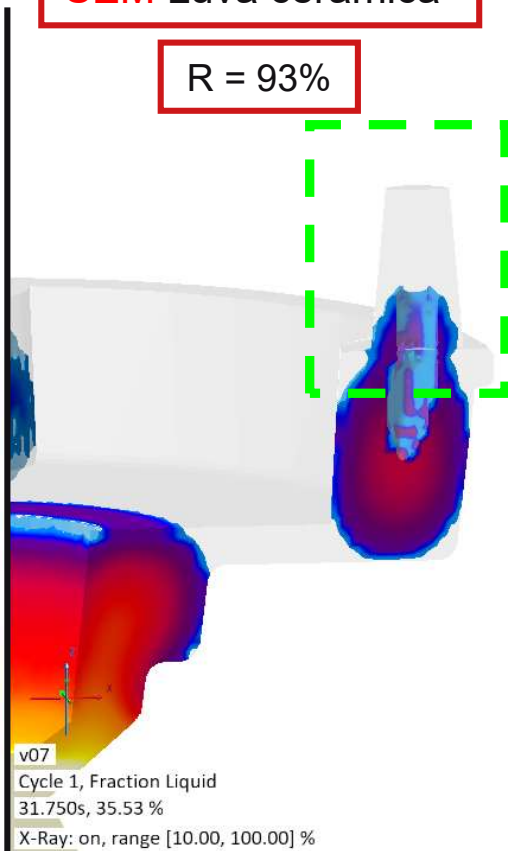
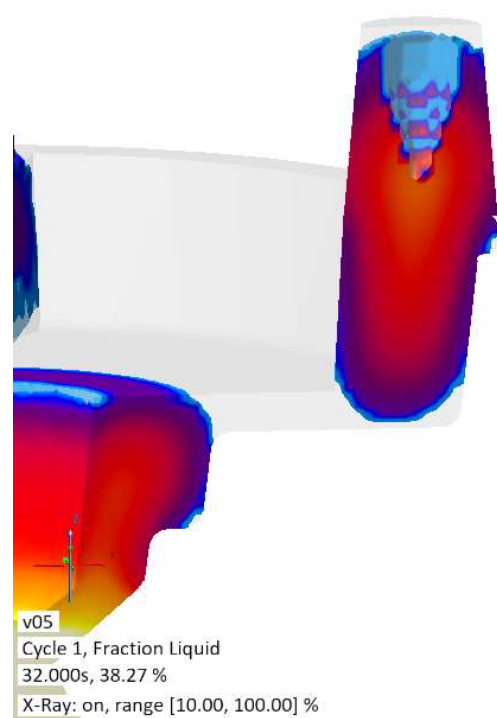
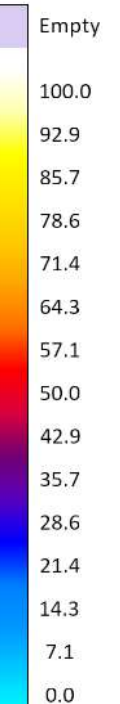
R = 93%

Massalote **pequeno**  
**COM** Luva cerâmica

R = 93%

A luva mantém o metal do massalote líquido por mais tempo.

Fraction Liquid  
%



MAGMA

MAGMA



# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Massalote COM X SEM luva cerâmica

Massalote **Grande**  
**SEM** Luva cerâmica

R = 84%

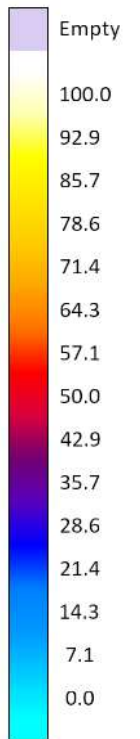
Massalote **pequeno**  
**SEM** Luva cerâmica

R = 93%

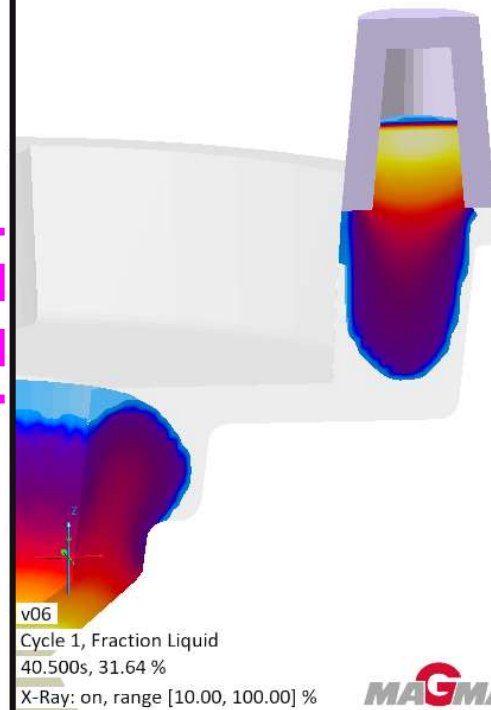
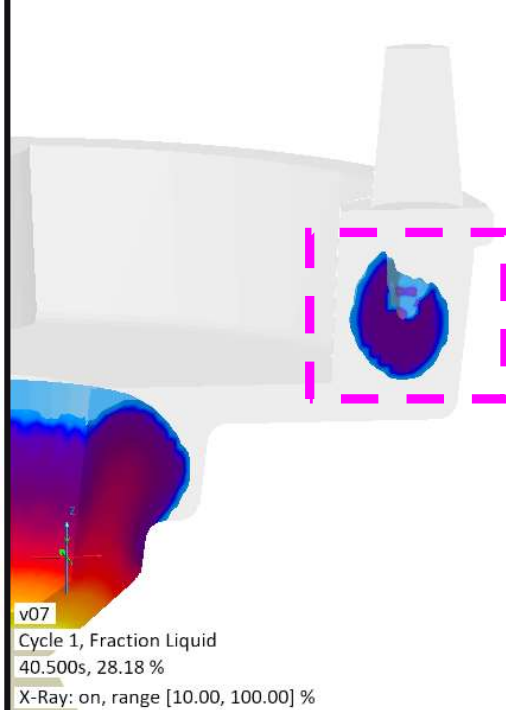
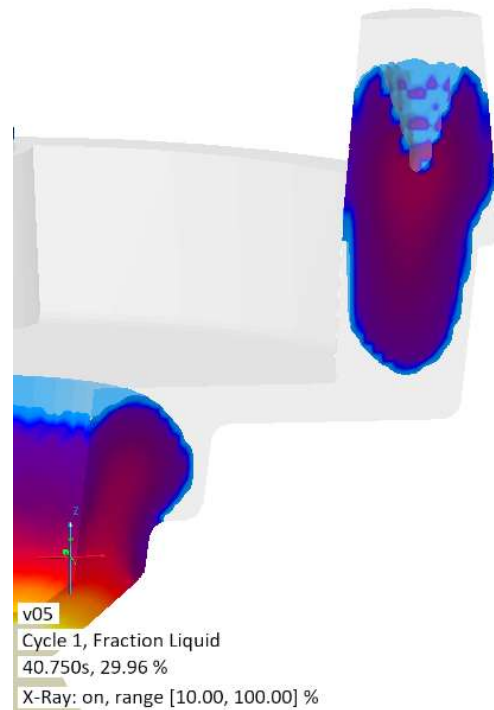
Massalote **pequeno**  
**COM** Luva cerâmica

R = 93%

Fraction Liquid  
%



Sem a luva cerâmica, a solidificação do sistema com o massalote pequeno termina dentro da peça.



MAGMA

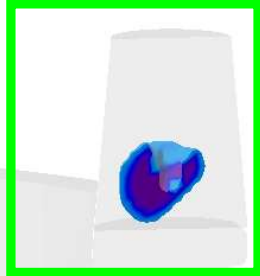
MAGMA

# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Massalote COM X SEM luva cerâmica

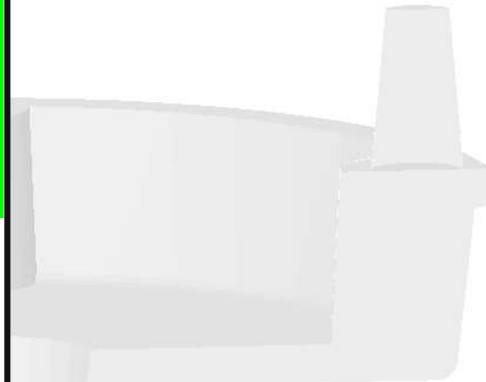
Massalote **Grande**  
**SEM** Luva cerâmica

R = 84%



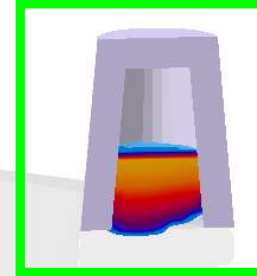
Massalote **pequeno**  
**SEM** Luva cerâmica

R = 93%



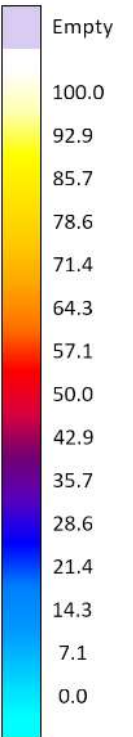
Massalote **pequeno**  
**COM** Luva cerâmica

R = 93%



A luva cerâmica permite que um massalote pequeno trabalhe de forma similar a um massalote de tamanho maior que não usa luva.

Fraction Liquid  
%



v05  
Cycle 1, Fraction Liquid  
54.250s, 21.46 %  
X-Ray: on, range [10.00, 100.00] %

v07  
Cycle 1, Fraction Liquid  
54.000s, 23.05 %  
X-Ray: on, range [10.00, 100.00] %

v06  
Cycle 1, Fraction Liquid  
54.000s, 24.18 %  
X-Ray: on, range [10.00, 100.00] %

MAGMA

MAGMA

# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Massalote COM X SEM luva cerâmica

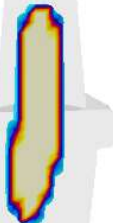
Massalote **Grande**  
**SEM** Luva cerâmica

R = 84%



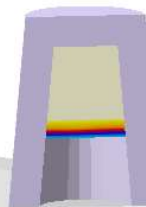
Massalote **pequeno**  
**SEM** Luva cerâmica

R = 93%



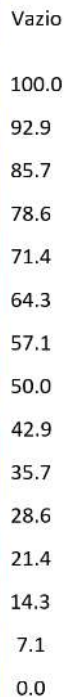
Massalote **pequeno**  
**COM** Luva cerâmica

R = 93%



Luvas cerâmicas aumentam a eficiência dos massalotes retardando a solidificação dos mesmos. Isso por sua vez permite a redução do tamanho do massalote garantindo um maior rendimento metálico.

Porosity  
%



v05  
Ciclo 1, Porosity  
1min 25.0s, 100.00 %  
Raio-X: ligado, range [1.000, 1.000] %

v07  
Ciclo 1, Porosity  
1min 25.0s, 100.00 %  
Raio-X: ligado, range [1.000, 1.000] %

v06  
Ciclo 1, Porosity  
1min 25.0s, 100.00 %  
Raio-X: ligado, range [1.000, 1.000] %

MAGMA

MAGMA

# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Massalote COM X SEM luva cerâmica

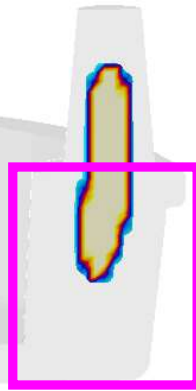
Massalote **Grande**  
**SEM** Luva cerâmica

R = 84%



Massalote **pequeno**  
**SEM** Luva cerâmica

R = 93%



Massalote **pequeno**  
**COM** Luva cerâmica

R = 93%



Luvas cerâmicas aumentam a eficiência dos massalotes retardando a solidificação dos mesmos. Isso por sua vez permite a redução do tamanho do massalote garantindo um maior rendimento metálico.

Porosity  
%

Vazio  
100.0  
92.9  
85.7  
78.6  
71.4  
64.3  
57.1  
50.0  
42.9  
35.7  
28.6  
21.4  
14.3  
7.1  
0.0

v05  
Ciclo 1, Porosity  
1min 25.0s, 100.00 %  
Raio-X: ligado, range [1.000, 1.000] %

v07  
Ciclo 1, Porosity  
1min 25.0s, 100.00 %  
Raio-X: ligado, range [1.000, 1.000] %

v06  
Ciclo 1, Porosity  
1min 25.0s, 100.00 %  
Raio-X: ligado, range [1.000, 1.000] %

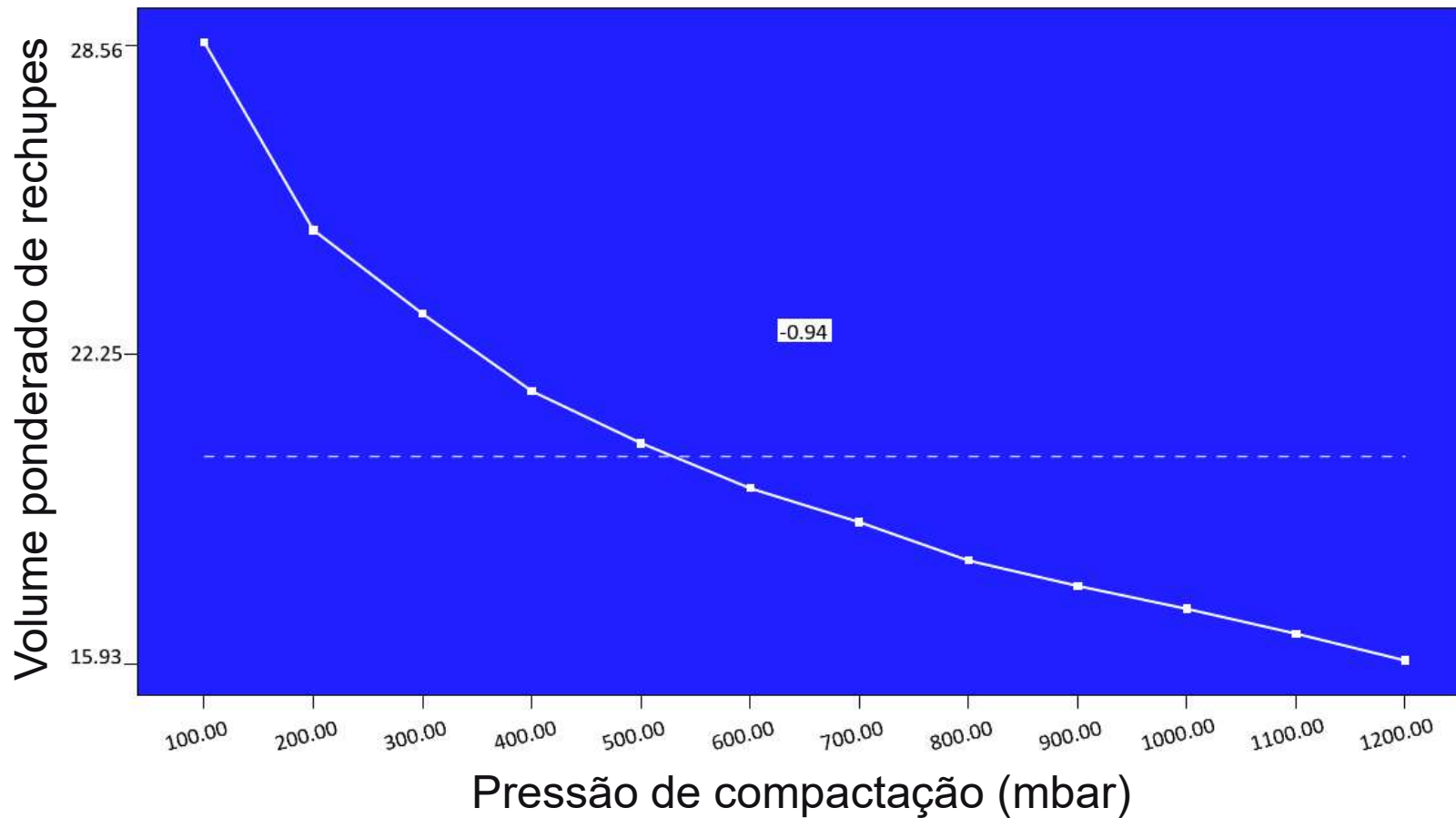
MAGMA



# EFEITO DA PRESSÃO DE COMPACTAÇÃO

# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

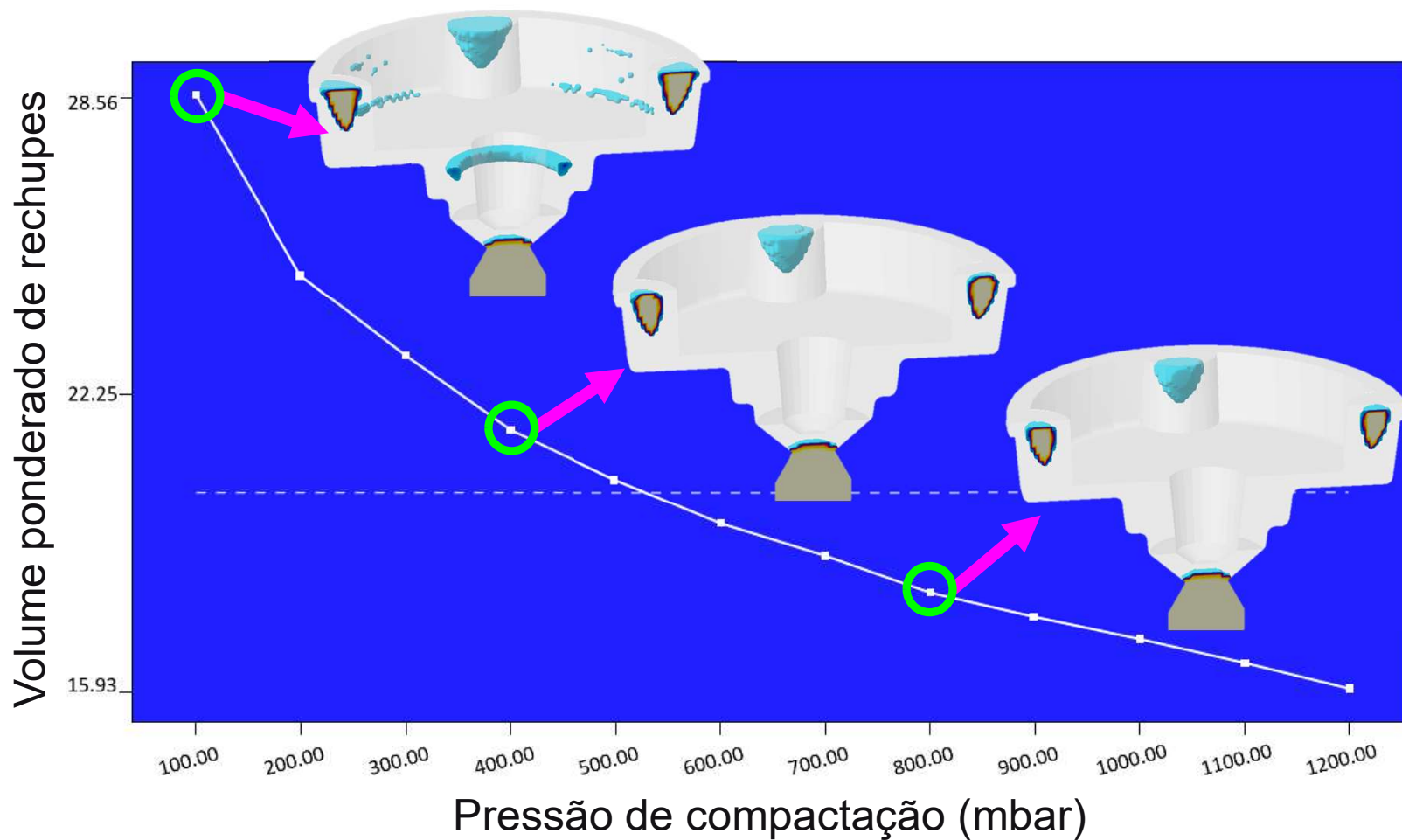
## Papel da curva de pressão durante a solidificação





# SOLIDIFICAÇÃO NO PROCESSO DE LPDC

## Papel da curva de pressão durante a solidificação



Pressões de compactação muito baixas aumentam a tendência de rechupes na peça, porém a partir de um determinado valor de pressão, a redução da tendência de rechupes fica pouco significativa.



# Obrigado pela atenção!

Felipe Cebukin

[f.cebukin@magmasoft.com.br](mailto:f.cebukin@magmasoft.com.br)

**MAGMA Engenharia do Brasil Ltda.**

**<https://www.magmasoft.com.br/pt/>**



A close-up photograph of a person's hands holding a smartphone. The phone's screen is blue and displays the white LinkedIn logo, which consists of the letters 'in' inside a square. The person's right index finger is touching the screen near the logo. The background is dark and out of focus. A horizontal bar with a blue-to-orange gradient is at the bottom of the image.

# LinkedIn



**SIGA NOSSA PÁGINA NO LINKEDIN**

[www.linkedin.com/company/magma-br](http://www.linkedin.com/company/magma-br)

