

itlepage



# Roteiro da Apresentação

Inovação: A Formulação Binder-Free

Reologia e Estabilidade da Tinta

Desempenho Térmico e Mecânico

Conclusão

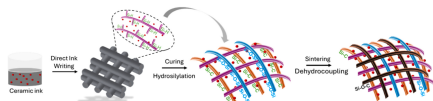
Referências

# O Desafio da Manufatura Aditiva de Cerâmicas

- As Cerâmicas de Carbetto de Silício (SiC) são críticas para aplicações aeroespaciais devido à alta resistência e resiliência térmica [2, 3].
- O processo DIW (Direct Ink Writing) é promissor, mas a maioria das tintas depende de:
  - **Ligantes (Binders):** Exigem \*de-binding\* térmico, causando retração irregular e rachaduras [4].
  - **Solventes:** Voláteis, introduzem toxicidade, e sua evaporação induz instabilidades estruturais (empenamento, microfissuras e poros) [4].

# Inovação Central do Artigo

- **Abordagem Livre de Solventes e Ligantes (*Solvent- and Binder-free*)** [2, 5].
- **Material Chave:** Utilização do polycarbosilano **SMP-10** [5].
  - O SMP-10 atua como o **precursor cerâmico** e a **fase líquida** para ligar as nanopartículas de  $\beta$ -SiC [2, 5].
  - Simplifica o pós-processamento, minimizando defeitos estruturais [4, 5].



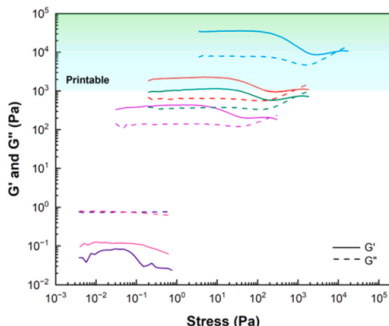
Esquema do processo DIW livre de ligantes e solventes.

# Otimização Reológica para o DIW

- A tinta ideal deve ser **shear-thinning** para extrusão suave [6].
- Deve ter elasticidade suficiente para **reter a forma** após a deposição [6, 7].

## Critério de Printabilidade (Ponto de Gel):

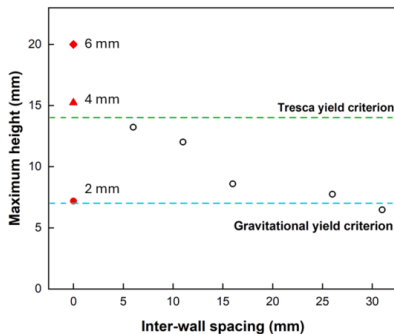
- O critério crucial é o **Ponto de Gel** ( $G' = G''$ ) ser **superior a 1000 Pa** [8, 9].
- **Resultado:** A tinta com **60 wt% SiC** mostrou excelente retenção, superando o limite [9, 10].



Curvas de Módulo de Armazenamento ( $G'$ ) e Módulo de Perda ( $G''$ ) em função do \*stress\* (Ponto de Gel).

# Limites de Estabilidade Estrutural ( $h_{max}$ )

- O artigo investigou a **Altura Máxima Imprimível ( $h_{max}$ )** [11, 12].
- **Suporte Lateral ( $d_w$ ):** Maior espaçamento levou a  $h_{max}$  reduzida ( $\approx 7$  mm). O espaçamento reduzido é crucial para estruturas mais altas [14, 15].
- **Largura da Camada Base ( $l_w$ ):** Camadas base mais largas aumentaram a  $h_{max}$  ( $\approx 20$  mm) [2, 16].



Imagens das estruturas impressas (SEM) e gráfico da altura máxima ( $h_{max}$ ) versus espaçamento de parede ( $d_w$ ).

**Modelos Teóricos:** Delimitam os limites inferior ( $\approx 6.62$  mm) e superior ( $\approx 14$  mm) [18, 19].

# Transformação de Fase e Retração

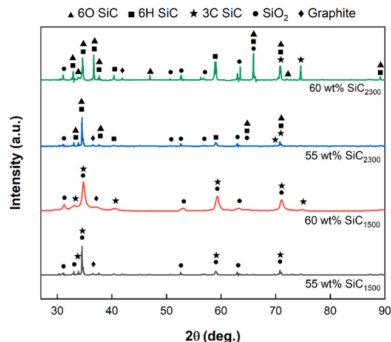
## ■ Pós-Processamento:

Sinterizadas a 1500°C e 2300°C [20].

## ■ Fases (XRD): $\beta$ -SiC

predominante a 1500°C.  
Transformação para  $\alpha$ -SiC a 2300°C [21].

## ■ Retração: A 2300°C, a retração é maior e anisotrópica, com alta retração fora do plano ( $\approx 17\%$ ) [15, 22].



Padrões de Difração de Raios X (XRD) comparando as fases a 1500°C e 2300°C.

# Propriedades Mecânicas e Térmicas

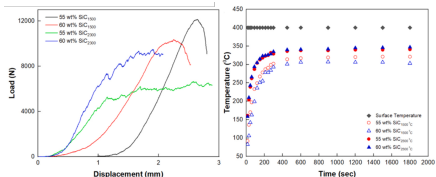
## Resistência Mecânica

### (Compressão):

- 1500°C apresentou **maior resistência** ( $9.62 \pm 1.10$  MPa) do que 2300°C ( $5.62 \pm 1.75$  MPa) [23].
- **Explicação:** A retração anisotrópica a 2300°C causa **distorção arquitetônica** [23].

## Isolamento Térmico:

- Amostras a 1500°C **demonstraram excelente isolamento** devido à microestrutura mais porosa [24].



Comparação da resistência à compressão e do desempenho de isolamento térmico.



## Conclusões Chave

- O método **DIW livre de solventes e ligantes** é uma abordagem conveniente e eficiente para cerâmicas avançadas [2, 15].
- A **reologia** é o fator limitante. A printabilidade ideal requer um **Ponto de Gel**  $> 1000 \text{ Pa}$  [8, 25].
- A **estabilidade estrutural** é altamente dependente da geometria [2, 15, 26].
- **Resultado Surpreendente:** O tratamento térmico a  $1500^{\circ}\text{C}$  forneceu **melhores propriedades mecânicas e isolamento térmico** do que a  $2300^{\circ}\text{C}$  [23, 24].

## Relevância e Perspectivas Futuras

- Este trabalho fornece a fundação para equilibrar printabilidade, isolamento térmico e desempenho mecânico [15].
- O uso do DIW com formulações livres de solventes aprimora o controle sobre a evolução microestrutural [2, 15].

# Referências

- VISWANADHA, P. et al. Solvent- and binder-free additive manufacturing of polymer-derived ceramics: Rheological optimization and structural performance. *Additive Manufacturing*, v. 84, p. 104278, 2025.

# Obrigado.