



V Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica  
V EnICT  
ISSN: 2526-6772  
IFSP – Câmpus Araraquara  
22 e 23 de outubro de 2020



## TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE CERÂMICAS POROSAS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E COMPARATIVO ENTRE O MÉTODO DE AGLOMERAÇÃO DE PARTICULAS E A MANUFATURA ADITIVA

BEATRIZ PEREZ<sup>1</sup>, HUYRA ESTEVÃO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, Bolsista PIBIFSP, IFSP Campus Piracicaba, beatriz.perez@aluno.ifsp.edu.br

<sup>2</sup> Docente, IFSP Campus Piracicaba, huyraestevao@ifsp.edu.br

**Área de conhecimento** (Tabela CNPq): Materiais Cerâmicos – 3.03.05.02-0

**RESUMO:** Atualmente, é crescente o número de aplicações para as cerâmicas porosas que possuem propriedades que não podem ser alcançadas por cerâmicas densas convencionais, acarretando enormes benefícios econômicos e sociais, esses materiais podem ser fabricados utilizando diversas técnicas de processamento, e o enfoque deste estudo este em investigar através da revisão bibliográfica dois métodos promissores de processamento: A aglomeração de partículas e a manufatura aditiva, para as próximas etapas é prevista a preparação de amostras utilizando as duas técnicas de processamento citadas realizando uma comparação posterior, todavia, através da análise de estudos anteriores é perceptível a influência do tamanho das partículas do pó na quantidade de poros, sendo que para pós nano cerâmicos quanto maior a quantidade, a porosidade diminui. Ademais, apesar de cada método possuir suas vantagens de usos potenciais, o uso da manufatura aditiva para a produção de cerâmicas porosas vem se intensificando devido a possibilidade de produzir corpos verdes de formas complexas com controle interno das estruturas.

**PALAVRAS-CHAVE:** POROSIDADE, PROCESSAMENTO, MISTURA, IMPRESSÃO 3D.

### INTRODUÇÃO

No processamento cerâmico, tradicionalmente é evitada a produção cerâmicas de alta porosidade, devido a sua natureza frágil. No entanto, atualmente, um número crescente de aplicações tem surgido para esses componentes, visto que através do controle da porosidade dessas cerâmicas pode-se obter propriedades e características que não são alcançadas nas cerâmicas densas convencionais, especialmente para ambientes onde o alto desgaste e corrosão estão envolvidos. Além disso, a pesquisa em cerâmica porosa possibilita inúmeras aplicações tecnológicas, e as aplicações de cerâmicas porosas podem ter enormes benefícios econômicos e sociais. As cerâmicas porosas, de acordo com Hammel (2014) podem ser fabricadas utilizando diversas técnicas de processamento, tais como impedindo a densificação total na sinterização, outra técnica está baseada em infiltrar o material cerâmico com um material de sacrifício onde após a sinterização este material é removido, criando os poros. Cada método tem suas vantagens e usos potenciais, contudo, é um desafio o controle do processamento e da estrutura final e dimensões dos poros, porém algumas técnicas se destacam, seja pelo custo e facilidade no processamento, ou por permitir o maior controle das características do material.

O objetivo desse estudo é uma revisão bibliográfica de dois métodos promissores utilizados para a fabricação de cerâmica, a aglomeração de partículas que é um método antigo onde a partir da mistura de dois pós de granulagens diferentes, é possível obter os poros onde normalmente quanto maior a agregação das partículas, maior o tamanho dos poros (ZHU XL e SU XJ, 2000). E um método recente, de produção da cerâmica porosa através do uso da tecnologia de manufatura aditiva, que é uma tecnologia de fabricação de

camada sobre camada usando deposição de material para construir diferentes formas geométricas de componentes 3D( HWA, C. L e colaboradores,2017).

## **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **CERÂMICAS POROSAS**

Um material poroso é um material que contém muitos poros, porém não necessariamente um material que contenha poros é considerado poroso. Além de conter esses espaços vazios, eles devem ser relevantes para as propriedades de transporte de fluidos em seu interior (CUNHA,A.,2019). A partir da década de 1970, as cerâmicas porosas começaram a ser desenvolvidas, é um composto que tem porosidade que varia entre 20% a 95% e são resistentes ao calor. Quando combinadas adequadamente a matéria-prima cerâmica com o seu processamento as cerâmicas porosas podem ser fabricadas com altos níveis de resistência mecânica, resistência à corrosão e estabilidades sob altas temperaturas. Dadas as diferenças entre seus materiais, existem vários tipos de cerâmicas porosas: silicato, alumino silicatos, carboneto de silício, entre outras. (LIU, P. & CHEN, 2014).

As cerâmicas porosas, de acordo com o mesmo autor, possuem características como boa estabilidade química, grande resistência e rigidez específica, sendo que a forma e o tamanho dos poros em cerâmicas porosas não mudam sob pressão de gás e pressão de líquido e estabilidade térmica, o que permite sua ampla variedade de aplicações que tornam esses materiais adaptáveis em muitas áreas como engenharia química, proteção ambiental, fonte de energia, metalurgia e indústria eletrônica.

### **TÉCNICA DE AGLOMERAÇÃO DE PARTÍCULAS**

A técnica de aglomeração de partículas é um método utilizado para obtenção de cerâmicas porosas, na qual consiste na mistura de materiais com diferentes distribuições granulométricas e a adição de nanopartículas, geralmente um pó bimodal constituído tanto de partículas grosseiras como de partículas muito finas(XL, Z. & XJ, S., 2000). Normalmente, quanto maior a agregação das partículas, maior o tamanho dos poros a microestrutura torna-se mais homogênea e a densificação é retardada a temperaturas elevadas. Os principais problemas que surgem quando um pó nano cerâmico é misturado com um pó micro cerâmico está relacionada a presença de grandes aglomerados que degradam as propriedades mecânicas. Uma abordagem para superar isso utilizando sol-gel revestindo as partículas grosseiras com sol para fabricar compósitos núcleo-casca, onde as partículas grossas são os “núcleos” e os materiais nanométricos formam a casca, desta forma as características da cerâmica porosa são melhoradas (KRITIKAKI, A. & TSETSEKOU, A, 2009).

### **TÉCNICA DE MANUFATURA ADITIVA EM CERÂMICAS**

O processo de manufatura aditiva de cerâmicas é baseado na tecnologia de impressão. É um processo que transforma modelos 3D digitais em objetos sólidos, construindo o material camada por camada ( HWA, C. L e colaboradores ,2017).A manufatura aditiva pode ser dividida em impressão direta e indireta. Na impressão direta, a suspensão cerâmica bem dispersa pelo bocal de injeção que goteja sobre o substrato de impressão, sendo que as gotas residuais desse processo são reutilizadas. Já a impressão indireta é geralmente utilizada para aplicações comerciais, as peças são fabricadas pela distribuição de um líquido ligante em uma camada de pó ( TRAVITZKY, N. e colaboradores,2014). De acordo com Seitz e colaboradores (2005), a impressão em 3D é bem adequada para fabricar cerâmica porosa complexa, contudo o processo de manufatura aditiva possui uma série de parâmetros de controle que podem afetar significativamente a qualidade do componente, além disso as características dos pós como tamanho, forma e distribuição de partículas influenciará a estrutura final que é portanto impactada nas propriedades das cerâmicas porosas.

Na manufatura aditiva o uso de matérias primas de granulagem nanométrica acarreta melhores propriedades mecânicas. A integração eficaz desses materiais a técnica de manufatura aditiva, permite

avanços na engenharia de tecidos ósseos. Além disso, quanto aos materiais utilizados a sílica torna as peças mais rígidas e quebradiças, enquanto a alumina pode melhorar as características de sinterização (CAMPBELL, T. e colaboradores, 2011).

## **METODOLOGIA**

A metodologia utilizada foi uma pesquisa bibliográfica exploratória acerca dos métodos de aglomeração de partículas e da manufatura aditiva para a produção de cerâmicas porosas, selecionando artigos através das plataformas ELSEVIER e CAPES do período de 1996 a 2020. A natureza do trabalho é básica já que apresenta os avanços científicos da evolução desses materiais porosos, e, por discutir um tema que já possui relevância em sociedade o objetivo da abordagem é exploratório e quantitativo, visto que a tendência é comparar dois métodos de processamento cerâmico, definindo, através dos resultados de diversos autores, o método mais promissor.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Vários foram os estudos que aplicaram o processamento de cerâmicas porosas pela aglomeração de partículas, e outras tantas pesquisas utilizaram a manufatura aditiva. No caso o método de aglomeração de partículas para o processamento de cerâmicas porosas, os resultados de A. Kritikaki e A. Tsetsekou (2008) indicam que a mistura de um pó nanométrico de alumina na faixa de 2 a 20% em peso da alumina comercial (Nabalox No 115-25, NABALTEC GmbH Germany) com tamanho de partícula micrométrica e sinterizada a 1500°C, exibe como resultado o aumento inicial da porosidade. No entanto, conforme a porcentagem do pó nano cerâmico é aumentada, uma diminuição gradual da porosidade é observada. Em todos os casos, a porosidade atinge o seu valor máximo quando a quantidade de pó nano cerâmico é 8% em peso da mistura inicial. Para pós preparados em um moinho de bolas, o aumento da porosidade chega a 30%, sendo que o tamanho médio dos poros aumenta neste mesmo grau. A adição de nanopartículas também significa um aumento da resistência a flexão, dependendo da forma de mistura e das condições de sinterização.

Os resultados de Kritikaki A. & Tsetsekou, A. (2008) se assemelham ao estudo anterior de Li e colaboradores (1997) onde as amostras 5% em peso de pó nano de alumina preparado em moinho de bolas adicionadas a uma mistura de 76% em peso de alumina e 24% de caulino, compactadas por prensagem isostática, foram sinterizadas a 1510°C. Seus resultados mostraram que a resistência a flexão com a adição de nanopartículas, além disso, observaram menor densidade em amostras sinterizadas em baixa temperatura, de 1400°C quando adicionados 10% a 30% de uma alumina superfina a uma alumina de tamanho submicrométrico comercial contendo aditivos de MgO e SiO<sub>2</sub>. A presença de nanogrãos na mistura, favorece o contato entre os grãos nos estágios iniciais da sinterização e isso retarda a densificação nas últimas etapas da sinterização (DENG e colaboradores, 2001). Como consequência, tanto a resistência quanto a porosidade inicialmente aumentam com a adição de uma pequena quantidade de nanomateriais. Para a aplicação porosa, German (2009) mostra que em uma mistura de dois pós se a quantidade de partículas finas na mistura for muito alta ocorrerá o aumento da densidade, já que a aglomeração das partículas pode eliminar seus efeitos positivos de preenchimento de vazios.

Já no processamento de cerâmicas porosas através do processo de manufatura aditiva os estudos de Yang e colaboradores (2013) os quais utilizaram o pó VITA VM13 Base (Vita Zahnfabrik, Germany) de composição química SiO<sub>2</sub>: 59-63%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 13-16%, K<sub>2</sub>O: 9-11%, Na<sub>2</sub>O: 4-6% , adicionando a ele, para aumentar a fluidez, 7% pó de SiO<sub>2</sub> com superfície modificada R972 (COSMOS Plastic & Chemicals), mostram a necessidade de uma morfologia regular e um pequeno intervalo do tamanho de partícula a fim de não reduzir a fluidez durante o processo de manufatura aditiva, os pós finos são utilizados para melhores acabamentos de superfície, no entanto podem exibir uma agregação significativa o que o torna incapaz de se espalhar uniformemente no processo de impressão. Vorndran e colaboradores (2015) verificaram que as

partículas de pó cerâmicos com dimensões menores que 5 mm, são propensas a aglomerar devido às forças de van der Waals, formando defeitos e crateras na superfície do pó durante a preparação da camada, no entanto a fabricação de cerâmicas por essa técnica melhora significativamente o controle sobre todo o projeto das estruturas sólidas porosas. A tabela 1 está organizada de forma cronológica e resume os resultados dos estudos discutidos dessas técnicas.

**TABELA 1. Resumo dos resultados dos estudos dos autores que utilizaram ou a aglomeração de partículas ou a manufatura aditiva para fabricação de cerâmicas porosas.**

Técnica	Autores	Resultados
Aglomeração de partículas	Li e colaboradores (1997)	A porosidade da cerâmica é aumentada quando adicionado pequenas quantidades de pó nano cerâmico a mistura já que retarda a densificação na sinterização.
Aglomeração de partículas	Kritikaki A. & Tsetsekou, A. (2008)	Maior porosidade em 8% em peso de pó nano cerâmico, a quantidade de pó nano cerâmico na mistura influencia diretamente na porosidade.
Manufatura Aditiva	Yang e colaboradores (2013)	É necessária uma morfologia regular das partículas. Os pós finos são bons para acabamento, mas podem se aglomerar.
Manufatura Aditiva	Vorndran e colaboradores (2015)	Partículas de pó cerâmicos com dimensões menores que 5 mm, são propensas a aglomerar devido às forças de van der Waals, formando defeitos nas camadas.

## CONCLUSÕES

O processamento cerâmico é o processo de fabricação cerâmica e consistem em técnicas de preparação do pó, sai conformação e sinterização. Geralmente é evitada a produção de cerâmicas altamente porosas, devido a fragilidade desses materiais. Todavia, as cerâmicas porosas que são fabricadas com o controle de sua porosidade possuem propriedades e características que não são alcançadas nas cerâmicas densas convencionais, e atualmente é crescente o número de aplicações para esses componentes porosos, os quais podem ser produzidos por diversas técnicas, sendo que o método mais antigo de aglomeração de partículas e o método recente da manufatura aditiva se destacam respectivamente pelo custo e facilidade no processamento e por permitir o maior controle das características do material.

A investigação bibliográfica destas técnicas de processamento de cerâmicas porosas foi significativa visto que a partir dos estudos anteriores foi possível concluir que tanto no método de aglomeração de partículas como no método de manufatura aditiva a quantidade de pó nano cerâmico influenciam na porosidade do material, todavia, a escolha do método de processamento é dependente da aplicação do material. Atualmente, devido a possibilidade de produzir corpos verdes de formas complexas com controle interno de estrutura, está intensificando o uso da manufatura aditiva para a produção de cerâmicas porosas, além disso, uma das vantagens dessa técnica é ela ser capaz de melhorar a formação da estrutura porosa por controlar a sua estrutura e otimização de parâmetros. As perspectivas futuras consistem na preparação e análise comparativa de amostras preparadas utilizando as duas técnicas de processamento a fim de complementar os resultados desta pesquisa bibliográfica.

## REFERÊNCIAS

- CAMPBELL, Thomas et al. Could 3D printing change the world. **Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing, Atlantic Council, Washington, DC**, v. 3, 2011.
- CUNHA, André Rafael; PERES FERNANDES, Celso. Materiais porosos e imagens: uma introdução. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 3, 2019.
- DENG, Zhen-Yan et al. High-surface-area alumina ceramics fabricated by the decomposition of Al (OH) 3. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 84, n. 3, p. 485-491, 2001.
- GERMAN, Randall M.; PARK, Seong Jin. **Handbook of mathematical relations in particulate materials processing: ceramics, powder metals, cermets, carbides, hard materials, and minerals**. John Wiley & Sons, 2009.
- HAMMEL, Emily Catherine; IGHODARO, OL-R.; OKOLI, O. I. Processing and properties of advanced porous ceramics: An application based review. **Ceramics International**, v. 40, n. 10, p. 15351-15370, 2014.
- HWA, Lim Chin et al. Recent advances in 3D printing of porous ceramics: A review. **Current Opinion in Solid State and Materials Science**, v. 21, n. 6, p. 323-347, 2017.
- KRITIKAKI, A.; TSETSEKOU, A. Fabrication of porous alumina ceramics from powder mixtures with sol-gel derived nanometer alumina: effect of mixing method. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 29, n. 9, p. 1603-1611, 2009.
- LI, Guanghai et al. Strengthening of porous Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics through nanoparticle addition. **Nanostructured materials**, v. 8, n. 6, p. 749-754, 1997.
- LIU, Peisheng; CHEN, Guo-Feng. **Porous materials: processing and applications**. Elsevier, 2014..
- SEITZ, Hermann et al. Three-dimensional printing of porous ceramic scaffolds for bone tissue engineering. **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials**, v. 74, n. 2, p. 782-788, 2005.
- TRAVITZKY, Nahum et al. Additive manufacturing of ceramic-based materials. **Advanced engineering materials**, v. 16, n. 6, p. 729-754, 2014.
- VORNDRAN, Elke; MOSEKE, Claus; GBURECK, Uwe. 3D printing of ceramic implants. **Mrs Bulletin**, v. 40, n. 2, p. 127, 2015.
- XL, Z., XJ S. Porous ceramics materials. *Chin Ceram* 2000.
- YANG, Li et al. Development of a 3D printing method for production of dental application. In: **Proceedings of the 24th International Solid Freeform Fabrication Symposium. Austin, TX, USA**. 2013.
- ZEIN, Iwan et al. Fused deposition modeling of novel scaffold architectures for tissue engineering applications. **Biomaterials**, v. 23, n. 4, p. 1169-1185, 2002.