

Joias do tipo porcelana de ossos: sinterização de materiais reciclados via micro-ondas

Raquel França Nascimento Andreato

Universidade do Estado de Minas Gerais

<http://lattes.cnpq.br/4419646547216348>

raquelfandreato@gmail.com

Resumo

O presente trabalho investiga a viabilidade de produzir joias em porcelana de ossos utilizando a técnica de sinterização por micro-ondas, a partir de materiais reciclados como ossos bovinos e vidro. O objetivo principal é desenvolver um processo sustentável e eficiente para a obtenção de joias com alta qualidade estética e funcional.

Palavras-chave

Porcelana de ossos; hidroxiapatita; sinterização; joalheria; sustentabilidade.

Bone China Jewelry: Sintering of Recycled Materials via Microwave

Abstract

The present study investigates the feasibility of producing bone china jewelry using the microwave sintering technique. The main goal is to develop a sustainable and efficient process to create high-quality aesthetic and functional jewelry.

Keywords

Bone china; hydroxyapatite; microwave sintering; jewelry; sustainability

1 Introdução

Nos últimos anos, a busca por práticas sustentáveis na indústria de joalheria tem ganhado relevância significativa, impulsionada pelo crescente interesse em reduzir o impacto ambiental e promover o uso responsável de recursos naturais. Nesse contexto, a produção de joias utilizando materiais reciclados e técnicas inovadoras tem despertado interesse tanto no campo da pesquisa científica quanto no setor comercial.

A utilização de porcelana de ossos, obtida a partir da sinterização de materiais reciclados via micro-ondas, representa uma evolução promissora dentro dessa temática. Esta abordagem não apenas reutiliza resíduos biológicos, como ossos bovinos calcinados, mas também emprega tecnologias avançadas de processamento, como a sinterização por micro-ondas, para alcançar materiais de alta qualidade com propriedades desejáveis para joalheria.

De acordo com Horta et al. (2023), a utilização de resíduos biológicos na produção de materiais como hidroxiapatita demonstra não apenas viabilidade técnica, mas também potencial para aplicações em diversas áreas como a biomédica, o que indica um campo fértil para exploração similar em outros materiais, como a porcelana de ossos. A pesquisa de Ramos et al. (2023) destaca a viabilidade da Caulinita amazônica e ossos bovinos calcinados na produção de porcelana, evidenciando o interesse crescente por matérias-primas mais responsáveis e regionais.

Este artigo propõe explorar o potencial da porcelana de ossos produzida via sinterização por micro-ondas como uma alternativa sustentável na criação de joias. Serão abordados aspectos técnicos do processo de fabricação, caracterização dos materiais resultantes e análise das propriedades que os tornam adequados para aplicações em joalheria. Além disso, serão considerados os aspectos estéticos e de design, alinhados às tendências contemporâneas de valorização da sustentabilidade no setor de joias, conforme discutido por Tenuta et al. (2024) e Cidade & Palombini (2023).

Ao integrar conhecimentos de design e sustentabilidade, conforme proposto por Cardoso (2016) e da Silva & Clementino (2023), este estudo visa contribuir para o avanço das práticas ambientalmente, economicamente e socialmente responsáveis na indústria de joalheria, promovendo inovação e conscientização sobre o uso de materiais e técnicas de fabricação mais sustentáveis.

1.1 Porcelana de ossos

A porcelana de ossos (*Bone China*), obtida por meio da calcinação de ossos bovinos, tem se destacado como material sustentável e de alto valor agregado no design contemporâneo de joias (RAMOS et al., 2023). Tradicionalmente associada ao luxo, sua reinterpretação no contexto do design sustentável reflete uma convergência entre tradição, inovação e responsabilidade ambiental. Tal prática dialoga com os princípios da Economia Circular, ao buscar a redução do impacto ambiental e o reaproveitamento de resíduos (CARDOSO, 2016).

O uso da porcelana de ossos contribui para a geração de renda e o fortalecimento da autonomia feminina, como discutido por Avelino et al. (2021), ao integrar o design social à sustentabilidade. Além disso, técnicas como polimento, cravação e incorporação de metais nobres elevam o valor

das peças, conforme apontado por Monteiro, Sabioni e Da Costa (2004). Ao unir técnicas tradicionais com soluções ecológicas, o desenvolvimento de joias com porcelana de ossos revela o potencial do design como ferramenta de inovação e transformação sustentável. (TENUTA et al., 2024).

1.2 Hidroxiapatita

A hidroxiapatita, fosfato de cálcio presente em ossos e dentes, é amplamente utilizada em aplicações biomédicas e, mais recentemente, na produção de porcelana de ossos destinada à joalheria (HORTA et al., 2023). Obtida por meio da calcinação de ossos bovinos, representa uma estratégia sustentável de aproveitamento de resíduos, possibilitando a criação de materiais esteticamente refinados e tecnicamente eficientes (RAMOS et al., 2023).

Esse material dialoga com os princípios da Economia Circular e promove impactos sociais positivos, como o empoderamento de comunidades vulneráveis (AVELINO et al., 2021). Para Cardoso (2016), o design precisa responder simultaneamente a demandas culturais, estéticas, sociais e ambientais. No campo educacional, a experimentação com hidroxiapatita reforça a formação de designers conscientes e inovadores (CIDADE; PALOMBINI, 2023; DA SILVA; CLEMENTINO, 2023). Assim, seu uso na joalheria fortalece a integração entre sustentabilidade, inovação e responsabilidade social (TENUTA et al., 2024).

1.3 Vidro

O vidro, material milenar de grande versatilidade, ocupa lugar de destaque no design de joias contemporâneo por seu potencial estético, funcional e sustentável (CARDOSO, 2016). Quando reciclado ou reutilizado, torna-se uma alternativa relevante para o Design Sistêmico, contribuindo para a Economia Circular e a redução de impactos ambientais (TENUTA et al., 2024).

Apesar do alto consumo energético em sua produção e dos riscos ambientais associados ao descarte inadequado, o vidro possui a vantagem de ser infinitamente reciclável. Projetos que promovem sua reutilização têm se mostrado eficazes tanto ambiental quanto socialmente, conforme apontam Avelino et al. (2016). No Brasil, seu uso em joias sustentáveis tem impulsionado ações disruptivas que combinam inovação, preservação ambiental e empoderamento feminino (DA SILVA; CLEMENTINO, 2023). Dessa forma, o vidro reafirma seu papel como material estratégico no design responsável e inclusivo.

2 Obtenção dos materiais

Para obter o compósito desejado, são necessárias duas matérias-primas principais: a hidroxiapatita, extraída de ossos bovinos provenientes de resíduos de açougues e retalhos, e garrafas de vidro que seriam descartadas.

Os ossos coletados foram encaminhados ao laboratório para serem submetidos a um processo de secagem e extração de matéria orgânica. Primeiramente, quebrados utilizando uma talhadeira e um martelo e levados à calcinação. Foi usado inicialmente um microondas para a calcinação dos ossos, tendo resultados pouco significativos. A melhor calcinação obtida foi realizada inserindo os pedaços resultantes foram colocados em um forno elétrico tipo mufla

modelo, restaurado pela empresa Oga Ins. e Com. Ltda., Belo Horizonte, alcançando a temperatura de 900 °C, por duas horas. O pó resultante foi então peneirado em uma peneira da marca A Bronzinox, 120 mesh (125 micrômetros), para realizar a separação granulométrica.

O pó de vidro foi obtido a partir de retalhos de vidraçarias, que seriam descartados, compostos por vidro verde e transparente, além de garrafas de bebidas vazias, para a obtenção do vidro azul. Para alcançar a granulometria necessária para os experimentos, os retalhos de vidro foram moídos em um moinho de jarros da marca Marconi modelo MA 500 utilizando um jarro de porcelana, por 18 minutos e, em seguida, peneirados para a separação granulométrica, utilizando peneira marca A Bronzinox, 120 mesh (125 micrômetros).

3 Técnicas experimentais

Para alcançar os objetivos propostos, foram realizados ensaios seguindo um procedimento padrão, que envolve a mistura dos dois componentes principais: hidroxiapatita e vidro moído, sendo adicionados outros materiais a fim de melhorar as propriedades do produto final. As misturas foram depositadas em moldes confeccionados em placa de fibra cerâmica sem marca, com 25,4 mm espessura e temperatura máxima de trabalho 1200 °C, desenhados com o software Aspire e usinados em uma CNC Router, sem marca, Classic 3020 de 3 eixos.

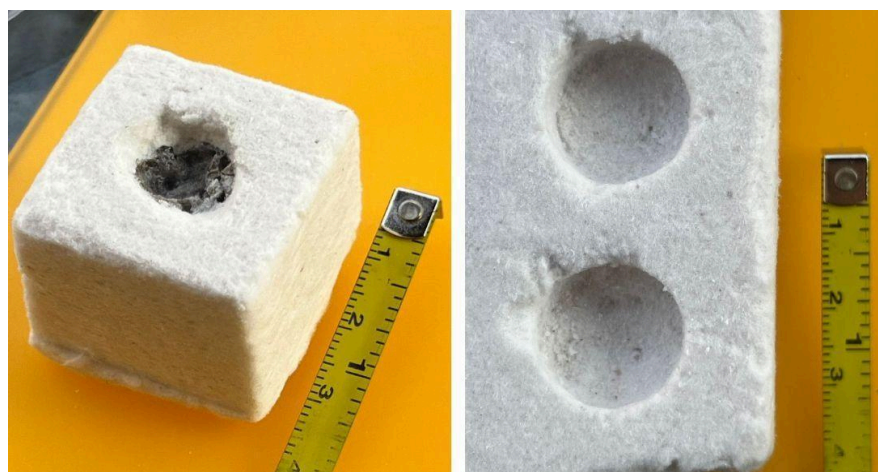


Figura 1: moldes.

Fonte: elaboração própria.

Em seguida, os moldes foram levados a um forno micro-ondas modelo Prática Technicook Finisher 20100W, em mufla cerâmica, sem marca, revestida com carbetto de silício (SiC), com tempo de processamento ajustado para cada ensaio. O objetivo era analisar a proporção ideal dos materiais e determinar o tempo mais adequado para a obtenção de um material tipo porcelana de ossos, considerando suas principais características: cor e resistência.

Para garantir a precisão na quantidade de material adicionado em cada molde, foi utilizada uma balança digital portátil, sem marca, KL-50 com capacidade de pesagem de 0.005 a 250 gramas.

Buscando analisar a superfície das amostras de forma mais detalhada foi utilizado um estereoscópio modelo A.Kruss Optronic, MSZ 5600, com ampliação de 0.7X.

3.1 Ensaios

Dado o número de ensaios realizados (61), este artigo foca na descrição dos experimentos que apresentaram os resultados mais relevantes e satisfatórios. Esses ensaios destacam os resultados positivos alcançados, além das adaptações necessárias para atingir os objetivos pretendidos.

3.1.1 Ensaio 1

O ensaio foi realizado com 0,4 gramas de material, composto por 50% de HAp calcinada em micro-ondas por 12 minutos, 30% de vidro e 20% de porcelana, em molde com 11 milímetros de diâmetro. Durante o ensaio, foi possível compreender como o material reage ao processo aplicado. Observou-se que a adição de porcelana moída não trazia benefícios significativos ao material, sugerindo que sua utilização é desnecessária.

Além disso, concluiu-se que o tempo ideal de funcionamento do forno a alta temperatura é de, no máximo, três minutos consecutivos, pois, após esse período, a temperatura é muito elevada, podendo danificar o forno. Dessa forma, é necessário abrir o forno após esse tempo.

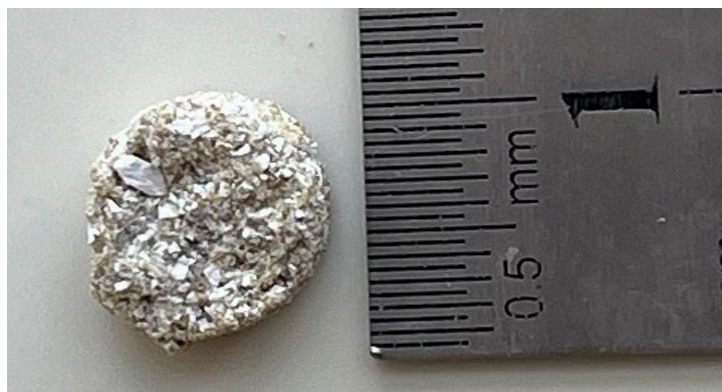


Figura 2: ensaio 1.

Fonte: elaboração própria.

3.1.2 Ensaio 2

Neste ensaio, foi proposta a utilização de HAp calcinada em micro-ondas por 12 minutos e vidro verde, em proporções iguais, totalizando 0,4 gramas de material. O resultado obtido foi um material pouco uniforme e oco internamente, quebrando ao desenformar, devido à liberação de gases provenientes de material orgânico que não foi completamente eliminado durante a calcinação dos ossos. Concluiu-se, portanto, que é essencial utilizar materiais com granulometria abaixo de 125 micrômetros. Para os experimentos subsequentes, foi implementada a utilização de peneiras com malha de 120 mesh (125 micrômetros), pois quanto menores as partículas das matérias-primas, mais homogêneo será o material resultante.



Figura 3: avaliação em estereoscópio do ensaio 3.

Fonte: elaboração própria.

3.1.3 Ensaio 3

Este ensaio foi realizado para comprovar que a formação de bolhas no material era resultado dos gases liberados durante o processo incompleto de calcinação dos ossos. Para isso, foram utilizados osso in natura e vidro. Constatou-se que a bolha aumentou em relação aos experimentos anteriores, permanecendo aderida ao molde, o que tornou impossível desenformar sem quebrar o material. Além disso, observou-se que a quantidade total de 0,4 gramas era insuficiente, sendo necessário aumentar a quantidade da mistura e, conseqüentemente, o tamanho do molde, a fim de produzir uma peça maior e facilita o desmolde.



Figura 4: avaliação em estereoscópio do ensaio 3.

Fonte: elaboração própria.

3.1.4 Ensaio 6

Para compreender a influência de um maior diâmetro do molde, foi proposta a utilização de HAp calcinada em micro-ondas por 6 minutos e vidro em proporções iguais, utilizando um molde com 0,6 milímetros de diâmetro. Os resultados mostraram-se mais satisfatórios em comparação aos experimentos anteriores, com uma redução significativa na formação de bolhas e o aumento na uniformidade. Dessa forma, concluiu-se que o processo é viável para a produção de joias como anéis, brincos e pingentes.

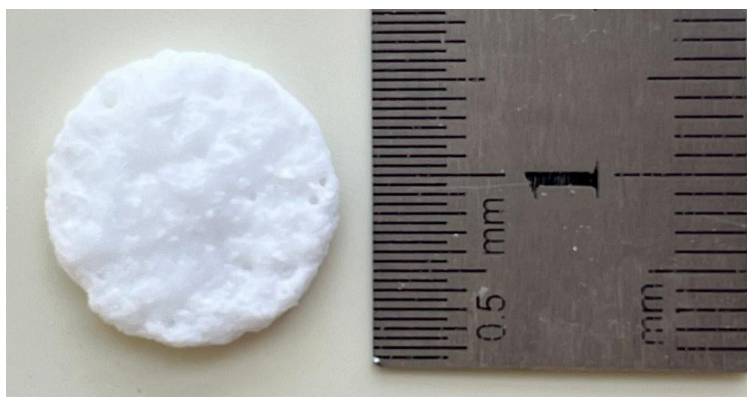


Figura 5: ensaio 6.

Fonte: elaboração própria.

3.1.5 Ensaio 9

No ensaio nove utilizou-se a HAp calcinada em micro-ondas por 12 minutos e vidro transparente em partes iguais, para confeccionar a peça. Este ensaio teve como intenção compreender qual o tempo de forno necessário para a obtenção da hidroxiapatita com as melhores características para o material. O resultado obtido foi pouco satisfatório com a formação de muitas bolhas e sem resistência. Porém, a superfície ficou vidrada e seu resultado foi importante para compreender que havia necessidade de se testar mais temperaturas para alcançar o resultado ideal.



Figura 6: ensaio 9.

Fonte: elaboração própria.

3.1.6. Ensaio 13

No ensaio treze, utilizou-se HAp calcinada por 32 minutos no micro-ondas em uma proporção de 60%, com o restante composto por vidro transparente, para avaliar o material resultante de uma maior proporção de hidroxiapatita. O resultado ficou aquém do esperado, com a sinterização incompleta dentro do tempo estipulado e sem as propriedades desejadas. Concluiu-se, portanto, que é mais eficaz limitar o uso de hidroxiapatita a no máximo 50% do material.

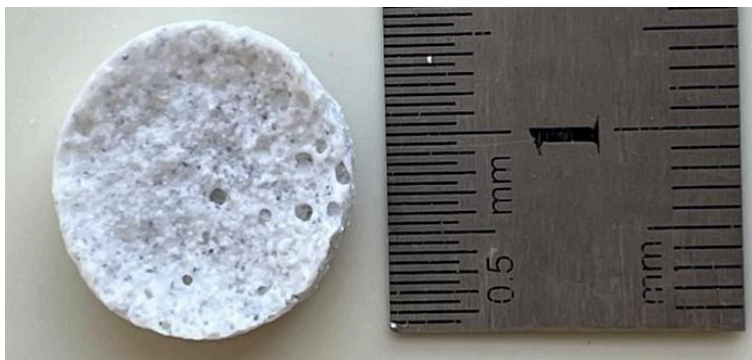


Figura 7: ensaio 13.

Fonte: elaboração própria.

3.1.7 Ensaio 31

A partir do ensaio 31, buscou-se novos materiais que tornassem o compósito mais resistente e aperfeiçoasse seu acabamento. Nesse sentido, foi aplicado ao ensaio descrito o álcool polivinílico, a proporção de 1%, sobre toda a mistura de 50% vidro e 50% HAp calcinada em forno-mufla e levado ao forno micro-ondas por 12 minutos, até sinterizar. O resultado ficou muito aquém do esperado, com grande formação de bolhas, deixando a parte inferior da peça vazia e o acabamento irregular na parte superior da peça.



Figura 8: ensaio 31.

Fonte: elaboração própria.

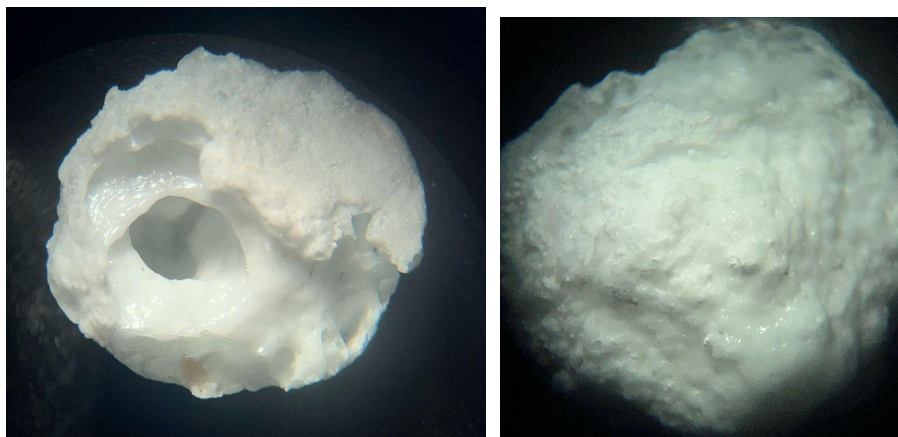


Figura 9: avaliação em estereoscópio.

Fonte: elaboração própria.

3.1.8. Ensaio 42

Com o intuito de aprimorar a composição do material, neste ensaio foi adicionada à composição, de 50% vidro, 22,5% HAp calcinada em forno-mufla e 22,5% feldspato, 5% de dióxido de titânio, por 8 minutos em forno micro-ondas. O ensaio obteve um resultado visualmente mais escuro e menos uniforme, sendo comprovado na análise por espectrofotometria, que resultou no abandono do uso do dióxido de titânio em ensaios posteriores.



Figura 10: ensaio 42.

Fonte: elaboração própria.



Figura 11: avaliação em estereoscópio.

Fonte: elaboração própria.

3.1.9 Ensaio 53

Buscando alcançar um acabamento mais refinado para a superfície da peça, foi ampliada a proporção do vidro no compósito, sendo estipulado o uso de 70% de vidro, 15% de HAp calcinada em forno-mufla e 15% de feldspato, por apenas 4 minutos. O resultado obtido foi bastante satisfatório, concluindo que o vidro em maior proporção, unido ao feldspato, acelera o processo de sinterização. Houve também a formação de uma grande bolha homogênea, sem danificar a estrutura da peça, gerada pela liberação de gases do feldspato, possibilitando um acabamento similar a lapidação cabochão, porém ainda com acabamento mais fosco que o da porcelana de ossos.

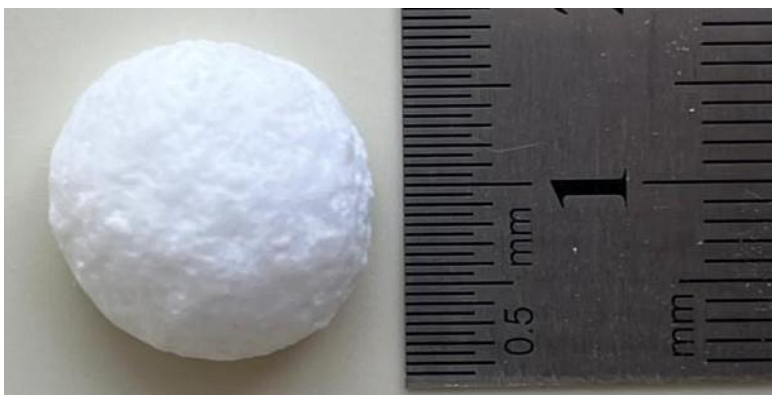


Figura 12: ensaio 53.

Fonte: elaboração própria.



Figura 13: gema de quartzo com lapidação cabochão vista por estereoscópio.

Fonte: elaboração própria.

3.1.10 Ensaio 61

Neste último ensaio, com a composição de 15% de HAp, 15% de feldspato e 70% de vidro, considerada a mais adequada para alcançar as características pretendidas. A mistura foi inserida em um molde com formato navete (lapidação com formato alongado e estreito, que recebe esse nome pelo formato similar a casco de barcos), e levada ao forno micro-ondas por 2 minutos, não sintetizando completamente a mistura, que foi reaquecida por mais 1 minuto, resultado na sinterização completa da peça. Após sinterizado, foi adicionada uma camada de vidro sobre o compósito para alcançar um acabamento liso e brilhante, mais similar ao da gema de quartzo, e inserida no micro-ondas por mais 5 minutos totais, divididos em 3 etapas, sendo a primeira de 1 minuto, inconclusiva, a segunda de 2 minutos, também sem resultados e uma última de 2 minutos, na qual se obteve uma peça cabocão com acabamento vidrado. A abertura do forno micro-ondas e da mufla revestida com carbeto de silício (na qual são inseridas as peças em todas as etapas) foi fundamental para o sucesso deste ensaio, pois isso fez com que a peça perdesse calor, não causando furos na peça.

O ensaio ainda foi submetido a um tratamento térmico no forno-mufla por 1 hora, para melhorar sua rigidez. Possibilitando um compósito mais leve que a porcelana de ossos porém com acabamento e resistência, suas principais características, similares ao da porcelana de ossos tradicional.



Figura 14: ensaio 61.

Fonte: elaboração própria.



Figura 15: avaliação em estereoscópio.

Fonte: elaboração própria.

4 Resultado

Após a obtenção das amostras, foi realizado um teste de tonalidade utilizando o espectrofotômetro Konica Minolta Sensing CR-400, com o suporte do software SpectraMagic NX Pro, que opera no espaço de cor CIELAB.

Ao analisar os dados fornecidos pelo espectrofotômetro, é possível concluir que o ensaio que contém dióxido de titânio teve um resultado inferior aos demais quanto a luminosidade e claridade, sendo este material prejudicial para o alcance das cor desejada para o material, enquanto ensaios que contém feldspato na sua composição obtiveram os melhores resultados, sendo a composição considerada mais eficiente a de 70% vidro, 15% HAp e 15% feldspato. Pode-se afirmar que, o ensaio que apresentou melhor resultado em ambos os casos foi o 61, que contém uma camada de vidro superficial, possuindo acabamento vidrado fino na parte superior da peça, e teve um tempo de sinterização de 9 minutos totais no forno micro-ondas, alcançando o resultado mais próximo do esperado.

A partir dos ensaios realizados, foram confeccionadas duas peças artesanalmente utilizando liga de prata 925, sendo um anel e um pingente. Para a colocação da gema, foi utilizada uma caixa de cravação inglesa, usada tradicionalmente para gemas opacas.

Para a fixação da gema foi utilizada técnica de fixação de pérolas, por meio de colagem, mas pretende-se posteriormente avançar o uso de técnica de cravação, conforme é usual na joalheria tradicional.



Figura 16: Pingente de prata 925 com gema de Porcelana de ossos.

Fonte: elaboração própria.



Figura 15: Anel de prata 925 com gema de Porcelana de ossos.

Fonte: elaboração própria.

Diante do resultado obtido foi possível compreender que o presente trabalho apresentou um estudo detalhado sobre a calcinação de ossos bovinos, destacando seu papel e a sua influência no tempo de sinterização para obtenção de um material com características desejáveis para a porcelana de ossos, como translucidez e resistência.

O estudo também demonstrou a importância de se obter maior controle sobre todas as etapas do processo, pois cada uma delas impacta diretamente na qualidade final do produto, já que qualquer mudança em um dos processos pode causar diferentes reações no material, seja na cor, formato, textura, rigidez ou acabamento.

Através de uma análise cuidadosa de cada ensaio, foi possível identificar variáveis-chave, como a proporção entre hidroxiapatita e vidro, o tempo ideal de processamento no forno e a adição de outros componentes para melhorar as características do compósito desenvolvido, sendo obtida, por tanto, uma peça mais clara, luminosa e leve que a porcelana comum, rígida e com acabamento vidrado, desejado na porcelana de ossos.

Dessa forma, os resultados obtidos abrem caminho para futuras pesquisas que podem continuar a aperfeiçoar as técnicas e ampliar o uso de materiais sustentáveis neste campo, fortalecendo a interseção entre sustentabilidade e design de joias. Em suma, foi compreendida a viabilidade e o potencial dessa prática inovadora no campo da joalheria, mesmo ainda sendo observada a necessidade de se explorar mais as técnicas a fim aprimorar ainda mais o material.

Referências

AVELINO, Ana Beatriz et al. Design social e sustentabilidade: A potencialidade do projeto de joalheria para o desenvolvimento econômico e empoderamento feminino Social design and sustainability: The potential of the jewelry design for the economic growth and women's empowerment. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 119831-119850, 2021.

CARDOSO, Rafael. **Design para um mundo complexo**. Ubu Editora LTDA-ME, 2016.

CIDADE, Mariana Kuhl; PALOMBINI, Felipe Luis. DESIGN E SUSTENTABILIDADE: PRÁTICAS EXPERIMENTAIS COM MATERIAIS PROBLEMÁTICOS NO ENSINO DE JOALHERIA CONTEMPORÂNEA: DESIGN AND SUSTAINABILITY: EXPERIMENTAL PRACTICES WITH PROBLEMATIC MATERIALS IN CONTEMPORARY JEWELRY EDUCATION. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 4, p. 17-26, 2023.

DA SILVA, Aryuska Aryelle Santos Sousa; CLEMENTINO, Thamyres Oliveira. DESIGN DE JOIAS: AÇÕES DISRUPTIVAS VOLTADAS À SUSTENTABILIDADE NO BRASIL CONTEMPORÂNEO. **Plural Design**, v. 6, n. 1, p. 67-80, 2023.

HORTA, Marla Karolyne dos Santos et al. Hydroxyapatite from biowaste for biomedical applications: obtainment, characterization and in vitro assays. **Materials Research**, v. 26, p. e20220466, 2023.

KONICA MINOLTA. *Let's look at some color spaces. Part 1: Precise color communication*. Disponível em: <https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/part1/07.html>. Acesso em: 13 ago. 2024

MONTEIRO, Renato Reis; SABIONI, Antônio Claret Soares; DA COSTA, G. M. Preparação de mulita a partir do mineral topázio. **Cerâmica**, v. 50, p. 318-323, 2004.

RAMOS, Adriano Zeferino et al. Desenvolvimento de porcelana (Bone China) a partir da Caulinita amazônica e ossos bovinos calcinados. 2023.

TENUTA, Livia et al. Sustainable Materials for Jewelry: Scenarios from a Design Perspective.

Sustainability , v. 16, n. 3, p. 1309, 2024.