

# **O DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS DE OSSO BOVINO COMO MATERIAL ALTERNATIVO SUSTENTÁVEL APLICADO AO DESIGN DE JÓIAS**

<sup>1</sup> Luciana dos Santos Duarte, <sup>1</sup> Maria Bernadete Santos Teixeira MSc.,

<sup>2</sup> Geraldo Magela de Lima Ph.D

*1 Escola de Design – Universidade do Estado de Minas Gerais, CEP 31270-010, Belo Horizonte – MG*

*2 Departamento de Química – ICEx – Universidade Federal de Minas Gerais, CEP 31270-901, Belo Horizonte – MG*

## **1. INTRODUÇÃO**

Este artigo aborda o projeto de desenvolvimento de compósitos com pó de osso bovino para aplicação na joalheria por meio da obtenção de um material compósito que possua propriedades e características semelhantes às do coral, a fim de se configurar como uma alternativa sustentável ao mesmo, bem como contribuir para o desenvolvimento sustentável do setor joalheiro.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

A fundamentação teórica está baseada na viabilidade econômica, estética e sustentável do osso na joalheria, apoiando-se nos conhecimentos de engenharia de materiais e de química inorgânica na metodologia do projeto.

Tradicionalmente, além dos metais nobres, sabe-se que a joalheria faz uso de outras matérias-primas não-renováveis, como as gemas orgânicas (exemplos: coral, marfim, pérola, âmbar, etc.). Hoje, diante do esgotamento desses recursos, ela tem buscado soluções materiais sustentáveis, com valor estético agregado. Nesse contexto, um compósito a partir do pó de osso bovino encontra grande aplicabilidade, por apresentar aspectos semelhantes ao do coral – ambos são constituídos à base de carbonatos e fosfatos –, valendo-se como um material sustentável e alternativo a este. Ademais, o compósito em questão dará utilização ao descarte de uma matéria-prima renovável, biodegradável e ainda pouco explorada, que são os ossos de bovinos.

A metodologia está dividida em quatro etapas, a saber:

## **2. 1. Base teórica**

Constitui as informações básicas de suporte ao projeto, nivelamento de conceitos, levantamento do estado da arte em relação aos adornos e demais objetos que utilizam o osso como matéria-prima bem como as técnicas de beneficiamento utilizadas.

### **2. 1. 1. Osso**

Os ossos de animais são um dos materiais mais antigos usados pelo homem. Desde o Período Paleolítico era usado na confecção de objetos diversos, como lanças, agulhas, objetos rituais, etc., sendo fácil de trabalhar e passível de trabalhos que requeriam uma geometria mais delicada – ao contrário da pedra. Porém, com a Era dos Metais, a utilização dos ossos diminuiu devido às vantagens das propriedades mecânicas daqueles materiais.

Após a Revolução Industrial, nota-se uma enorme diversidade de materiais, juntamente ao aumento do consumo. Conseqüentemente, surgem problemas relacionados ao descarte desses materiais e ao esgotamento das reservas naturais. Da necessidade de minimizar o impacto ambiental causado por essa dinâmica consumo/produção, surgem movimentos como o “green consumerism”, consumismo verde, fenômeno mundial já consolidado e que desempenha um papel importante para deslocar a questão ambiental do terreno da denúncia para o terreno da economia e do mercado (MANZINI, E., VEZZOLI, C; 2005).

Sabe-se que o Brasil se classifica mundialmente como o segundo país em tamanho de rebanho bovino e em produção de carne, é o terceiro exportador mundial de carne bovina e a pecuária representa 40% do valor do PIB da agropecuária (IBGE; 2008). Nesse panorama, a utilização do osso bovino em produtos coloca-se como alternativa viável, disponível em grande quantidade de bovinos para carne, pois é uma matéria-prima renovável, biodegradável e, portanto, “verde”.

Atualmente, o osso é utilizado de duas formas: em pó e em talas da tíbia. O pó de osso, também conhecido como farinha de osso, serve como adubo para plantações e como constituinte de ração animal. Já as talas da tíbia têm várias finalidades na indústria.

As talas, após limpas e desengorduradas, juntamente aos chifres, podem ser transformadas em brinquedos para cães, detalhes e revestimentos de móveis, cabos para cutelaria, pentes, chaveiros, prendedores de cabelo, entre outros objetos utilitários e decorativos.

### **2. 1. 2. Jóias de osso**

Na indústria da moda, o osso se faz presente em alças, botões, abotoaduras, enfeites, fivelas e demais detalhes para roupas, bolsas, cintos, calçados, óculos e acessórios em geral.

No setor de adornos, o osso é muito utilizado na bijuteria, ou seja, em peças como colares, brincos, anéis, pulseiras e braceletes, pingentes e piercings. Devido à sua porosidade e constituição química, o osso possui boa aderência aos metais, unindo-se perfeitamente a materiais mais nobres, como o ouro e a prata.

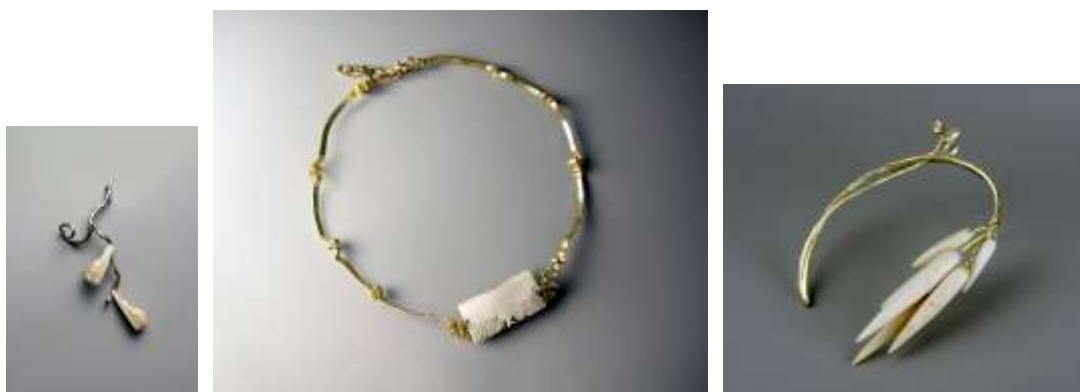
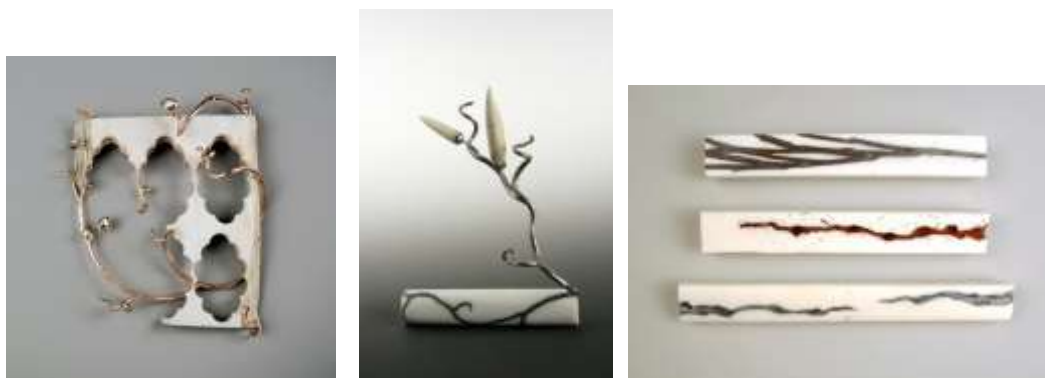
Apesar de seu uso difundido e de estar em voga, o osso ainda é um material mal aproveitado pela joalheria. De todo o esqueleto bovino, apenas as talas de tibia são aproveitadas, sendo os ossos restantes transformados em pó ou descartados. Isso se deve ao fato de a tibia possuir a camada externa, isto é, o osso cortical - e não a matriz óssea, que é constituída de matéria orgânica e assemelha-se a uma esponja, mais densa e espessa que o restante do esqueleto. Portanto, apenas a parte externa da tibia é utilizada na joalheria, pois ela permite acabamentos refinados, como a aplicação de design de superfícies, com técnicas diversas.

Alguns exemplos de objetos com osso da joalheria contemporânea podem ser observados abaixo, como anéis, brincos, braceletes, colares e broches.



Imagens de Susan Chin

Observa-se, no trabalho da designer de jóias Susan Chin, que o osso tem boa aderência à prata, ao ouro 18k e 22k.



Imagens de Jennifer Trask

Já o trabalho da designer de jóias Jennifer Trask, mais ousado quanto à mistura de materiais, prova que o osso une-se não só a prata e ao ouro, mas também ao ferro, ao vidro, às resinas epóxi e ao bronze.

Conclui-se que o osso apresenta boa aderência a materiais de propriedade termo-moldável, como metais, polímeros e até mesmo o vidro.

### 2. 1. 3. Gemas orgânicas

Gema é o termo aplicado a todo material natural que por suas propriedades (cor, brilho, dureza, raridade, pureza, etc.) e ainda, pelos ditames da moda, é usado

para fins de adorno ou ornamentação. Deriva do latim *gemma* que pode significar broto ou pedra preciosa, através da raiz *gem*, produzir, no sentido de pureza e raridade. Senso estrito é o termo aplicado somente às pedras lapidadas e polidas. Ao material bruto é, às vezes, reservado o nome de mineral-gema ou pedra-gema. Por vezes é ainda o nome aplicado, em sentido mais restrito, a pedras montadas ou trabalhadas em sinetes ou camafeus. Há cerca de três séculos, Anselmo Boot definia pedras preciosas como as pedras pequenas, raras, dura e que herdaram da natureza o nome de belas (FRANCO, R. R., CAMPOS, J. E. S; 1965).

De uma maneira geral, as gemas podem ser classificadas como:

1. Minerais
2. Produtos segregados por seres vivos
3. Rochas.

Gemas orgânicas são as do segundo tipo, pois derivam de seres orgânicos. São gemas orgânicas: osso, sementes (como a jarina), coral, azeviche, casca de tartaruga, dentes de animais (como o marfim), pérola e âmbar.

#### **2. 1. 4. Osso e coral**

Os ossos são órgãos que apresentam, além do tecido ósseo predominante, outros tipos de tecido conjuntivo, como o fibroso, o reticular (medula óssea vermelha), o adiposo, o cartilaginoso e o sangue. O tecido ósseo apresenta-se formado por células e por material intercelular denominado matriz óssea. A matriz óssea dos ossos é composta por aproximadamente 65% de substâncias inorgânicas e por 35% de substâncias orgânicas. Dentre as inorgânicas, a mais abundante é o fosfato de cálcio, ocorrendo também fosfato de magnésio e carbonato de cálcio. Dentre as orgânicas, praticamente 90% correspondem às fibras colágenas, sendo o restante basicamente formado por mucopolissacarídeos. As substâncias inorgânicas, isto é, os cristais de hidroxiapatita (HA), conferem rigidez ao osso, enquanto as fibras colágenas dão-lhe certa flexibilidade.

Osso “inorgânico” é a fração inorgânica do tecido ósseo, conhecida simplesmente por hidroxiapatita (HA), e não inclui a parte orgânica, ou seja, colágeno, proteínas, gordura, etc. A extração da parte orgânica pode ser feita por métodos distintos como a sua dissolução em um meio apropriado, a calcinação (degradação térmica) e a oxidação química (ROSENA, V. B.; HOBBSA, L. W.; SPECTROB, M.; 2002).

Por serem constituídos pela proteína forte, porém mole, conhecida por colágeno, juntamente com o duro e frágil mineral apatita (CALLISTER J. R.; 2002), os

ossos são considerados um compósito. Entende-se por compósito todo material composto por dois ou mais macro constituintes (fibras, partículas, matrizes, etc.).

Já o coral é a substância segregada por animais marinhos que vivem em colônias. Cada indivíduo da comunidade – pólipo ou zoófito – é constituído por um corpo tubiforme e esbranquiçado, apresentando na extremidade superior oito tentáculos que envolvem a boca. A base sobre a qual se fixam as extremidades inferiores dos pólipos é uma espécie de plataforma endurecida formada por espículos calcários distribuídos em camadas concêntricas. São constituídos, essencialmente, de carbonato de cálcio (87%), contendo ainda carbonato de magnésio (cerca de 7%), matéria orgânica (1,5 a 3%) e ainda outros sais e minerais em quantidades menores (FRANCO, R. R., CAMPOS, J. E. S; 1965).

Assim como o osso, o coral também é classificado como gema orgânica, afinal são segregados de seres vivos. Ambos são muito semelhantes quimicamente, pois apresentam a mesma molécula constituinte básica, a hidroxiapatita (HA). A HA porosa de coral é considerada um biomaterial quimicamente indistinguível dos tecidos ósseos naturais (WHITE E., SHORS E. C; 1986). A fórmula da hidroxiapatita é:  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , isto é, fosfato de cálcio mais hidroxila.

## 2. 1. 5. Coral

O coral nobre utilizado em joalheria é formado pela espécie *Corallium nobile* ou *Corallium rubrum*. Os pólipos de *C. rubrum* são muito sensíveis às variações de temperatura, desenvolvendo-se melhor em águas tranquilas e claras, cuja temperatura oscile entre 13° e 16°C. Isso, obviamente, limita sua distribuição geográfica a áreas bem marcadas que se estendem do sul da Irlanda, através da baía de Biscaia, à ilhas da Madeira, Canárias e Cabo Verde; daí através do Mediterrâneo ao Mar Vermelho, ao arquipélago malaio até as águas japonesas. As pescas atuais realizam-se nas águas do arquipélago malaio e do Japão e especialmente no Mediterrâneo ou ao redor de suas ilhas. São importantes as que se realizam nas costas da Tunísia, Algéria e Marrocos, no lado africano e nas vizinhanças de Nápoles, Livorno e Gênova; nas costas da Sardenha, Córsega, Catalunha e Provença, no lado europeu. Espécies de menor valor, por exemplo, a *Corallium secundum*, são encontradas nos mares do Japão. Outra espécie de coral branco, *Oculinacea vaseuclosa*, é utilizada para fins de ornamentação. Coral negro, conhecido por Akabar ou coral real (*Antipathes spiralis*), do Oceano Índico, cresce também nas águas tropicais da Austrália e no Mediterrâneo, onde os italianos o denominam giogetto coral azul, produzido por *Allopar subirolcea*, é pescado nas costas de Camerun, na África, onde é chamado Akori. (FRANCO, R. R., CAMPOS, J. E. S; 1965).

O coral nobre (*C. rubrum*), de acordo com a tonalidade, pode ser assim classificado:

- Bianco: branco puro;
- Pelle d'angelo: pele-de-anjo (rosa muito claro) ou terceiro sangue;
- Rosa pallido: rosa pálido;
- Rosa vivo: rosa vivo;
- Secondo colore: cor salmão (segunda cor);
- Rosso: vermelho (ou primeiro sangue);
- Rosso escuro: vermelho escuro (ou segundo sangue);
- Arciscuro ou carbonetto: vermelho muito escuro (sangue de boi) ou espuma de sangue.

Os corais preciosos têm sido utilizados desde a Idade da Pedra, mas os métodos destrutivos de colheita junto ao crescimento da procura mundial ameaçam a sobrevivência dos corais vermelho e rosa.

Estatísticas globais de 1950 a 2001 indicam um rápido declínio na abundância das espécies do Mediterrâneo e do Pacífico, devido à descoberta, ao desenvolvimento da pesca comercial, ao aumento dos desembarques, a superexploração, e, finalmente, ao esgotamento desses recursos naturais, isto é, os recifes de corais. A maioria das populações, do Pacífico, de *Corallium* tem sido dizimadas aos 4-5 anos após sua descoberta. Em torno do Mediterrâneo, populações de *C. rubrum* mostraram uma diminuição drástica do seu tamanho, estrutura etária e potencial reprodutivo nos últimos 20 anos. As únicas colônias remanescentes comercialmente valiosas são encontradas ao longo da costa de Marrocos Africano para a Tunísia, no Estreito de Bonifacio oeste e ao largo da Sardenha, ao longo da costa espanhola.

A principal ameaça para as espécies do gênero *Corallium* é o comércio internacional de corais; em seguida, são os impactos humanos, que incluem poluição, sedimentação, turismo e mergulho (Mediterrâneo), acrescido de colheita e incidentais degradações do habitat associada a pesca dos corais

## **2. 1. 6. Jóias de coral**

São comercializados internacionalmente milhões de exemplares de corais por ano, tais como jóias. Mais de 26 milhões de peças de corais vermelho e rosa em forma de jóias e objetos de arte foram importados pelos Estados Unidos desde 2001 até 2006.

O *Corallium* é gênero mais valioso e precioso coral, sendo muito valorizado para jóias e objetos arte; as contas de melhor qualidade alcançam preços de US\$ 40 por grama e os colares podem custar até US\$ 25.000. A cor mais vermelha possível, o

tamanho, as peças grandes são extremamente raras e, a ausência de buracos e ranhuras são os fatores principais que afetam o valor do coral.

Todavia também são comercializadas falsificações de corais, principalmente pelos seguintes materiais:

- Marfim vegetal convenientemente colorido e que pode ser facilmente reconhecido através de uma lupa revelando estrutura celular puntiforme;
- Misturas de borracha e gipso;
- Mármore pulverizado e misturado com cola de peixe corados com cinábrio ou pó de mínio;
- Osso, chifre ou marfim corados com cinábrio;
- Pó de coral convenientemente aglutinado;
- Galatite;
- Vidro;
- Porcelana;
- e vários plásticos. (FRANCO, R. R., CAMPOS, J. E. S; 1965).

Infelizmente, não existem medidas internacionais de controle ou de gestão de comércio internacional para o gênero *Corallium*.

A seguir, algumas imagens de gemas e jóias de coral:



Como se trata de uma gema de cor opaca, sólida, as formas de lapidação preferenciais não são as do tipo facetada, mas do tipo cabochão, entalhe, camafeu e mosaicos, além da própria forma natural (WEBSTER, R; 1994).



Abaixo, podem ser observadas duas jóias da designer Karen Gilbert, que mistura pó de coral com vidro.



Imagens de Karen Gilbert

### 2. 1. 7. Simuladores de gemas

O termo “simuladores de gemas” é uma tradução literal do original em inglês, proposto por Robert Webster, “gemstone simulants”. Trata-se de materiais alternativos às gemas de aspecto visual muito próximo ao das mesmas. A simulação de objetos preciosos por substâncias muito menos valiosas remete à pré-história (WEBSTER, R.; 2004). De acordo com outro autor (SMITH, G. F. H.; 1972), foram elaboradas tabelas com uma síntese dos tipos de resinas sintéticas, as termoplásticas e as termorrígidas.

Resinas termoplásticas	
Celulóide	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ o plástico provém das paredes celulares das plantas</li> <li>▪ esse plástico não é totalmente sintético</li> <li>▪ a celulose provém de: fios de algodão, polpa da madeira e “linsters”</li> </ul>
Pyroxylin	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ dinitrato de celulose com 2% de nitrogênio</li> <li>▪ se bem amassada com cânfora, resulta numa substância parecida com chifre, também conhecida no mercado como xylonite</li> </ul>
Celulóide	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ um substituto para o marfim das bolas de bilhar</li> <li>▪ outros nomes: celluloid, pyralin, hecolite, viscolid e fiberoid</li> <li>▪ é solúvel em acetona e em acetato de amônio</li> <li>▪ é usado para: teclas de piano, cabos para facas e de escovas de dente, pentes, escovas de cabelo e artigos ornamentais em geral</li> </ul>
Acetato de	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ não inflama ao ser queimado</li> </ul>

celulóide	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ outros nomes: cellulose acetate plastic, bexoid, celanese (para roupa), celastoid, cellomold, erinofol, isoflex, lumarith, plastacele, rhodoid, tenite, utilix e windolite</li> </ul>
Acetato de vinil	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ formado por acetileno (<math>\text{CH}:\text{CH}</math>) e ácido acético (<math>\text{CH}_3.\text{CO}.\text{OH}</math>)</li> <li>▪ substância transparente semelhante ao vidro</li> </ul>
Cloreto de vinil	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ resultado da reação de acetileno mais ácido hidrolórico</li> <li>▪ polimerizado sob várias condições</li> <li>▪ incolor e transparente</li> <li>▪ útil para propostas de modelagem</li> </ul>
Poliestireno	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ vynil benzeno ou estireno é preparado numa combinação de etileno (<math>\text{CH}_2.\text{CH}_2</math>) com benzeno (<math>\text{C}_6\text{H}_6</math>), de modo que perca hidrogênio e produza estireno, <math>\text{C}_6\text{H}_5.\text{CH}.\text{CH}_2</math></li> <li>▪ polimerizado e transformado num plástico semelhante ao cristal</li> <li>▪ é um dos plásticos mais valiosos</li> <li>▪ outros nomes: distrene, styron, lustron, victron, resoglanz e troletul</li> </ul>
Metacrilato	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ plásticos semelhantes ao vidro</li> <li>▪ esterização do ácido metacrílico</li> <li>▪ ácido acrílico (<math>\text{C}_3\text{H}_3\text{O}.\text{OH}</math>) e o ácido metil-acrílico (metacrílico) (<math>\text{C}_4\text{H}_5\text{O}.\text{OH}</math>) são misturados</li> <li>▪ a polimerização de ésters acrílicos resulta em plásticos macios, que não podem ser comparados em utilidade aos ésters metacrílicos rígidos</li> <li>▪ outros nomes: diakon, perspex, lucite e plexiglass</li> </ul>

### Resinas termorrígidas

Fenol-formaldeído	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ fenol + formaldeído = resina rígida</li> <li>▪ cresylic acid + formaldeído</li> <li>▪ cor preta ou marrom</li> <li>▪ recebe também minerais, como asbesto e mica</li> <li>▪ usado na manufatura de vários artigos, como isolantes, puxadores de maçaneta, tampas de garrafas, painéis para armários e cinzeiros</li> </ul>
Amina	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ formaldeído + composto orgânico, resultando em resinas claras</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ semelhante ao vidro</li> <li>▪ a incorporação de 30 a 40% de celulose aumenta sua resistência</li> </ul>
Caseína	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ fora a celulose, é a única proteína utilizada como material para plásticos</li> <li>▪ nomes comerciais: erinoid, lactoid, galalith</li> <li>▪ esses plásticos são trabalhados com precisão da mesma maneira que o marfim e o chifre</li> <li>▪ é o mais excepcional dos plásticos coloridos</li> <li>▪ utilização vastíssima</li> </ul>

### 2. 1. 8. Design e sustentabilidade

Existem três qualificações de design relacionado à sustentabilidade: o design verde, o ecodesign e o design para a sustentabilidade.

O design verde teve o mérito de despertar a consciência para um problema que passou aos poucos a integrar a agenda de discussões (CASTRO, M. L. A. C., CARRARO, C. L.; 2008). Diferentemente da concepção dos eco-produtos do design verde, o ecodesign tem mais a ver com uma eco-gerência de produtos, considerando todo o ciclo de vida dos mesmos (MANZINI, E., VEZZOLI, C; 2005). Já o design para a sustentabilidade, o qual se refere ao projeto em questão, caracteriza-se por:

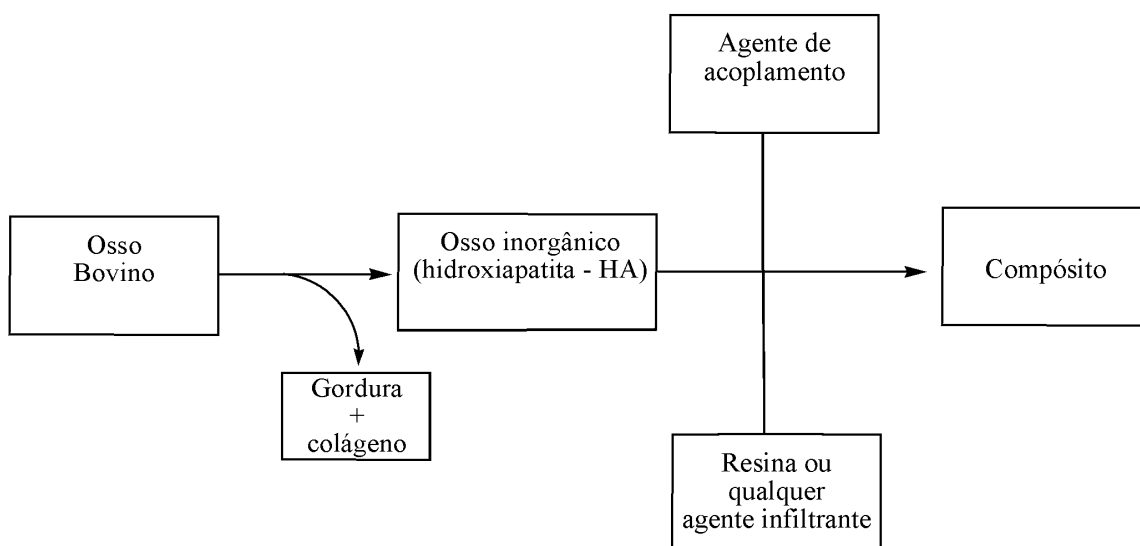
- Ampliação do conceito de sustentabilidade;
- Questionamento da função do produto;
- Possibilidade de influenciar os padrões de consumo exigentes;
- Destaque para a responsabilidade do consumidor;
- Ampliação do conceito de sustentabilidade.

O design verde havia proposto a recentralização do design no homem, mas embora não deixasse de fazer uma reflexão sobre o consumo, colocava o foco no produto e nos processos industriais. O eco-design, por sua vez, também propusera uma visão extremamente centrada no produto, em seu ciclo de vida, na gerência de seus processos de fabricação e transformação. Embora estes enfoques sejam necessários e importantes, as mudanças no produto e na produção e mesmo no ciclo de vida do produto não são suficientes para sozinhas reverter a trajetória insustentável nas proporções e na velocidade necessárias. A reflexão sobre a capacidade de gerar mudanças a partir da expressão de novas aspirações e de uma demanda mais ética levou, assim, a novos enfoques de sustentabilidade no design, que atribuem aos consumidores um papel mais importante e criativo, gerando propostas mais radicais e envolvendo expectativas de mudanças ainda mais profundas na sociedade, no

consumo e na forma de se relacionar com os produtos (CASTRO, M. L. A. C., CARRARO, C. L.; 2008).

## 2. 2 Etapa exploratória

Trata-se da síntese, caracterização e estudos do compósito. Essa etapa subdivide-se em quatro etapas, ilustradas abaixo:



Esquema 1 – Sumário das etapas a serem atingidas na etapa exploratória

Inicialmente, foi moída uma tíbia bovina das pernas traseiras. Assim, obteve-se um pó de osso grosseiro quanto às dimensões das partículas.

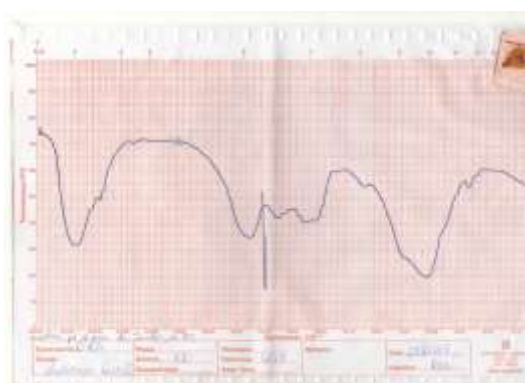
### 2. 2. 1. Produção do osso inorgânico

A produção do osso inorgânico consiste na obtenção do mineral hidroxiapatita. Para tanto, foi utilizado o método da saponificação, que é atóxico e comprovadamente eficiente na obtenção de osso inorgânico na forma de pó (HABERKO, K.; BUCKO, M.M.; MUCZNIK, J.B; 2003). A extração do osso inorgânico com NaOH permite que a gordura presente no osso resulte em sabões de sódio, não-solúveis. Foram realizadas várias dessa experiência, sempre bem-sucedida, refluxando pó de osso, NaOH e água destilada durante pelo menos 24h.

Para a desorganificação do osso, também foi aplicado um processo de desnaturação não tão severo quanto o da solução alcalina, sendo este com pó de osso mais tolueno (solvente polar), em refluxo. Durante este tratamento, uma parte do colágeno se desnatura lentamente pela ação do calor, na mesma medida que os produtos da desnaturação se solubilizam. Porém, esse processo foi preterido em

relação ao da solução alcalina, em razão dessa metodologia necessitar de menor tempo para atingir o efeito desejado.

O espectro do osso inorgânico, obtido tanto com NaOH (3) quanto com tolueno (4) foi comparado com aqueles obtidos utilizando-se amostras padrão de hidroxiapatita, bem como com amostras do pó de osso sem sofrer processo de desorganificação. Abaixo podem ser analisados os espectros das amostras de pó de osso “sujo” (1 e 2) e “limpo” (3 e 4).



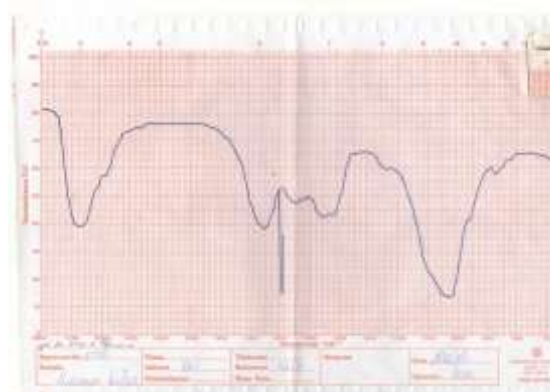
1 - Amostra de pó de osso da Sander



2 - Pó de osso in natura



3 - Pó de osso mais NaOH



4 - Pó de osso mais tolueno

Depois de limpo, o pó de osso passa por filtração simples e a vácuo, a fim de garantir que todo o sabão seja eliminado. Então, o pó de osso é secado na estufa, em temperatura em torno de 60°C. Pode-se observar a aparência mais branca do osso desorganificado (“limpo”) em relação a amostras in natura (“sujo”). Por fim, o pó de osso é peneirado para obtenção de partículas mínimas.

## 2. 2. 2 Reação do osso inorgânico com agentes de acoplamento

Essa reação se dá entre ligantes entre a hidroxiapatita e uma resina ou agente infiltrante. Ao contrário do que se havia previsto, não foram necessários os agentes de

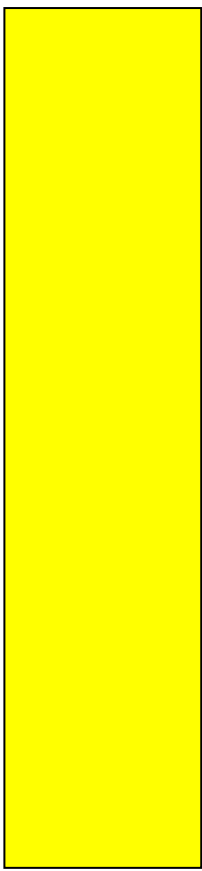
acoplamento titanatos, zirconatos e silanos, sendo substituídos por agentes específicos de acordo com cada tipo de agente infiltrante.

### 2. 2. 3. Preenchimento do osso inorgânico com resina ou agente infiltrante

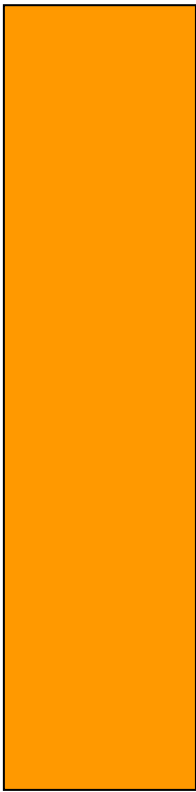
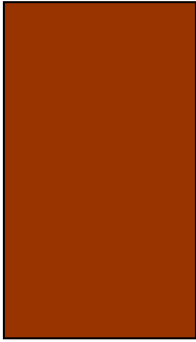

Foram realizadas algumas experiências com poliuretano, resina de poliéster, dentre outras. Nesta etapa são considerados os constituintes das resinas sintéticas usadas como simuladores de gemas. Atualmente, esta etapa encontra-se em desenvolvimento, sendo experimentadas diversas outras resinas ainda inéditas na literatura.

### 2. 2. 4. Pigmentação

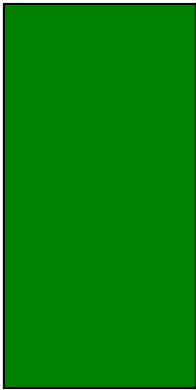
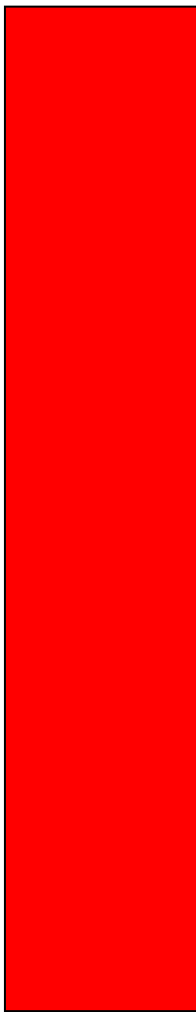
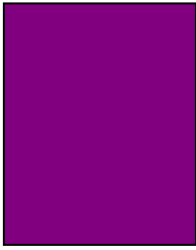
A etapa de pigmentação tem sido realizada simultânea às duas etapas anteriores. Baseando-se na bibliografia consultada, foram desenvolvidas duas tabelas de pigmentos para orientar a obtenção dos mesmos.


<b>Pigmentos inorgânicos</b>		
<b>Cor</b>	<b>Nome científico</b>	<b>Fórmula / descrição química</b>
	Amarelo-de-cádmio-zinco-puro	CdSZn / Co-precipitado (solução sólida) de sulfeto de cádmio e sulfeto de zinco calcinados. Matiz torna-se mais claro e mais verde com o incremento de ZnS, mais escuro e mais vermelho com grau de calcinação.
	Litopônio-amarelo-de-zinco-cádmio	CdSZnBaSO <sub>4</sub> / Co-precipitado (solução sólida) de sulfeto de cádmio, sulfeto de zinco e sulfeto de bário calcinados. Matiz torna-se mais claro e mais verde com incremento de ZnS, mais escuro e mais vermelho com grau de calcinação.
	Amarelo-de-sulfeto-de-cádmio-puro	CdS / Sulfeto de cádmio calcinado. Matiz pode ser variado com grau de calcinação, pequenas adições de zinco ou selênio.
	Amarelo-de-litopônio-de-cádmio	CdSBaSO <sub>4</sub> / Co-precipitado (solução sólida) calcinado ou mistura de sulfeto de cádmio e sulfato de bário. Matiz torna-se mais claro e mais verde com incremento de ZnS, mais escuro e mais vermelho com grau de calcinação.
	Amarelo-de-cobalto	CoK <sub>3</sub> N <sub>6</sub> O <sub>12</sub> / Adição de nitrato de potássio e solução de sal de cobalto.

	Amarelo-de-nápoles	$Pb_3(SbO_4)_2$ / Interação de soluções de nitrato de chumbo e antimônio de potássio.
	Amarelo-de-óxido-de-ferro sintético	$Fe_2O_3 \cdot xH_2O$ / Óxido férrico hidratado produzido por sulfeto ferroso.
	Óxido de ferro amarelo-natural	$Fe_2O_3 \cdot xH_2O$ / Óxido férrico hidratado de minério de limonita.
	Amarelo-de-titânio-rutilo, antimônio e níquel	$(Ti, Ni, Sb)O_2$ / Matriz cristalina de rutilo formada pela calcificação de óxido de titânio, óxido de níquel e óxido de antimônio.
	Ferrocianeto férrico	$C_6FeN_6 \cdot H_6N$ / Ferrocianeto de amônio férrico precipitado pela reação de um ferrocianeto com um sulfato, e em seguida um (bi)cromato. Alterações no processamento e tratamentos posteriores resultam em vários graus especiais.
	Azul-de-aluminato-de-cobalto, espinélio	$CoAl_2O_4$ / Matriz cristalina de espinélio formada pela calcinação de óxido de cobalto e óxido de alumínio.
	Azul-ultramar	$Na_{6-8}Al_6Si_6O_{24}S_{2-4}$ / Sulfocilicato de sódio preparado de minério de lápis-lazúli ou sinteticamente pela calcinização de argila branca, carbonato de sódio, e outros materiais apropriados.
	Azul-de-manganês	$BaMnO_4BaSO_4$ / Manganato de bário combinado com sulfato de bário
	Azul-cerúleo	$CoO \cdot n(SnO_2)$ / Óxidos de cobalto e estanho; sulfato de cobalto calcinado com cloreto de estanho.
	Espinélio-de-cromita de cobalto azul-esverdeado	$Co(Al, Cr)_2O_4$ / Matriz cristalina de espinélio formada pela calcinação de óxido de cobalto, óxido de cromo e óxido de alumínio
		Chumbo-branco
Óxido de zinco		$ZnO$ / Óxido de zinco produzido por: (1) processo (direto) americano: tostando minério; (2) processo (indireto) francês: queimando metal de zinco vaporizado sob condições de oxidação.
Dióxido de titânio		$TiO_2$ / Dióxido de titânio é produzido por ilmenita ferroso através do processo de sulfato ou por minério rutilo pelo

		processo de cloreto. Anatase e rutilo diferem em estrutura de cristal. Pode ter sua superfície tratada com certos óxidos.
	Laranja-de-sulfosselenito-de-cádmio-puro	$CdS \cdot x CdSe$ / Co-precipitado (solução sólida) de sulfito de cádmio e selenito de cádmio. O tom torna-se mais laranja com o aumento de CdSe e na calcinação.
	Laranja-de-litopônio-de-sulfosselenito-de-cádmio	$CdS \cdot x CdSe \cdot y BaSO_4$ / Co-precipitado calcinado (solução sólida) ou mescla de sulfito de cádmio, selenito de cádmio e sulfato de bário. O matiz torna-se mais vermelho com aumento de CdSe e grau de calcinação.
	Laranja-vermelhão-de-cádmio-puro	$CdS \cdot x HgS$ / Cristais mistos (solução sólida) de sulfeto de mercúrio em sulfeto de cádmio. O matiz torna-se mais vermelho com aumento de HgS e grau de calcinação.
	Laranja-de-litopônio-de-mercúrio-cádmio	$CdS \cdot x HgS \cdot y BaSO_4$ / Co-precipitado calcinado (solução sólida) ou combinação de sulfeto de mercúrio, sulfeto de cádmio e sulfato de bário. O matiz torna-se mais vermelho com aumento de HgS e grau de calcinação.
	Óxido de ferro sintético	$Fe_2O_3$ / Normalmente misturas de óxidos sintéticos.
	Siena-crua (natural)	$Fe_2O_3$ / Óxido férrico produzido de minérios.
	Siena-queimada	$Fe_2O_3$ / Óxido férrico produzido de minérios e calcinado.
	Sombra-crua (natural)	$Fe_2O_3 \cdot x MnO_2$ / Óxido férrico ferroso preparado de minérios contendo até 25% de dióxido de manganês e quantidades variadas de alumina e sílica.
	Negro-de-fumo	C / Negro-de-carbono produzido pela queima de alcatrão naftaleno cru, creosoto, ou outros resíduos de petróleo.
	Negro-de-carbono	C / Carbono quase puro produzido pela queima de óleo altamente aromático ou de gás natural. Conteúdo de oxigênio, hidrogênio, enxofre e hidrocarbonos; pode ser variada por tratamentos posteriores.
	Negro-de-marfim	$C \cdot x CaPO_4$ / Ossos de animais calcinados ou carbonizados. Contendo 72-84% de fosfato de cálcio.
	Óxido de ferro negro	$FeO \cdot Fe_2O_3$ / Óxido férrico ferroso produzido por minério de magnetita, ou



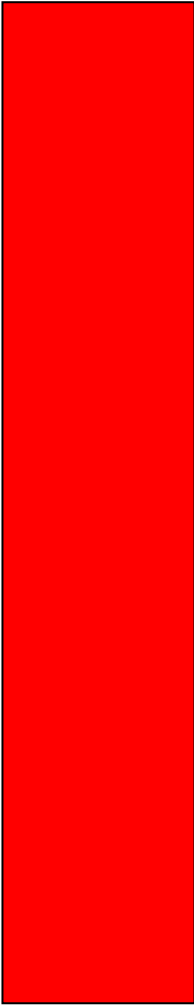
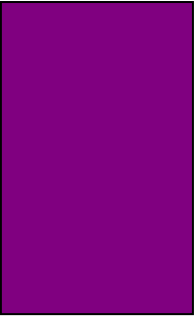
		sinteticamente em geral por oxidação de sais de ferro precipitados sob condições alcalinas.
	Verde-de-óxido-de-cromo	$\text{Cr}_2\text{O}_3$ / Óxido de cromo calcinado
	Viridian	$\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ou $\text{Cr}_2(\text{OH})_2$ / Bicromato e ácido bórico, calcinado e depois hidrolisado.
	Verde-de-cobalto	$\text{CoO} \cdot \text{ZnO}$ / Óxidos de cobalto e zinco
	Terra-verde	Silicatos ferrosos, alumínio e magnésio
	Espinélio do verde-de-titanato-de-cobalto	$\text{Co}_2\text{TiO}_2$ / Matriz cristalina de espinélio inverso formado pela calcinação de óxido de cobalto (II) e óxido de titânio (IV).
	Óxido de ferro vermelho sintético	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ / Óxido férrico produzido quimicamente.
	Óxido de ferro vermelho natural	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ / Óxido férrico preparado de minério triturado e classificado como hematita.
	Vermelhão	$\text{HgS}$ / Sulfeto de mercúrio
	Vermelho-de-cádmio-puro	$\text{CdS} \cdot x \text{CdSe}$ / Co-precipitado (solução sólida) de sulfeto de cádmio e selenita de cádmio. Atonalidade torna-se mais vermelha com o acréscimo de CdSe e aumento de calcinação.
	Vermelho-de-litopônio-de-cádmio	$\text{CdS} \cdot x \text{CdSe} \cdot y \text{BaSO}_4$ / Co-precipitado de cádmio (solução sólida) ou mistura de seleneto de cádmio e sulfato de bário. O matiz torna-se mais vermelho com acréscimo de CdSe e aumento de calcinação.
	Vermelhão-de-cádmio-puro	$\text{CdS} \cdot x \text{HgS}$ / Co-precipitado (solução sólida) ou mistura de sulfeto de mercúrio em sulfeto de cádmio. Matiz torna-se mais escuro com aumento de HgS e grau de calcinação.
	Vermelho-de-litopônio-de-mercúrio-de-cádmio	$\text{CdS} \cdot x \text{HgS} \cdot y \text{BaSO}_4$ / Co-precipitado calcinado (solução sólida) ou mistura de sulfeto de mercúrio, sulfeto de cádmio, e sulfeto de bário. Matiz torna-se mais escuro com aumento de HgS e grau de calcinação.
	Violeta-de-cobalto	$\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2$ / Fosfato cristalino formado pela calcinação de óxido de cobalto (II) e óxido de fósforo (V)
	Violeta/vermelho-ultramar	$\text{H}_2\text{Na}_{(4-6)}\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_2$ / Sulfossilicato de sódio preparado pelo aquecimento de azul ultramar com cloreto. Reação causa remoção de algum sódio e enxofre,

		causando uma mudança na cor
	Violeta-de-manganês	$H_4O_7P_2 \cdot H_3N \cdot Mn$ / Pirofosfato cristalino formado pela reação de ácido fosfórico quente com fosfato diamônio e dióxido de manganês

Pigmentos orgânicos		
Cor	Nome científico	Fórmula / descrição química
	Amarelo-de-arilido G	$C_{17}H_{16}N_4O_4$ / 2-nitro-p-toluidina diazotizado combinado com acetonoacetanilido
		$C_{16}H_{12}Cl_2N_4O_4$ / 4-cloro-2-nitroanilina diazotizada combinado com o-cloroacetacetanilido
	Amarelo-de-arilido RN	$C_{18}H_{18}N_4O_6$ / 2-nitro-p-anisidina combinado com o-acetoacetanisidido
	Amarelo-de-arilido GX	$C_{17}H_{15}ClN_4O_5$ / 4-cloro-2-nitroanilina diazotizado combinado com o-acetoacetanisidido
	Amarelo-de-arilido 5GX	$C_{18}H_{18}N_4O_6$ / 4-nitro-anisidina diazotizado combinado com o-acetoacetanisidido
	Amarelo-de-diarilido HR70	$C_{36}H_{32}Cl_4N_6O_8$ / 3,3'-diclorobenzidina tetrazotizado combinado com 4'-cloro-2',5'-dimetoxiacetoacetanilide (2 mols)
	Amarelo-de-arilido FGL	$C_{26}H_{27}ClN_4O_8S$ / 4-amino-2,5-dimetoxibenzene-sulfonânido diazotizado combinado com 4'-cloro-2',5'-dimetoxiacetoacetanilido
	Amarelo-de-arilido 10GX	$C_{17}H_{14}Cl_2N_4O_4$ / 4-cloro-2-nitroanilina diazotizado combinado com 4-cloro-o-acetoacetotolide
	Amarelo-de-antrapirimidina	$C_{30}H_{15}N_3O_4$ / 1,9-antrapirimidina-2-ácido carboxílico reagido com 1-amino-antraquinona
	Amarelo-de-isonindolinona G	Derivado de 4,5,6,7-tetracloro-isoindolina-1-um (não classificado)
	Amarelo-de-isonindolinona R	
	Amarelo-de-flavantrona	$C_{28}H_{12}N_2O_2$ / 2-aminoantraquinona tratado em nitrobenzeno com pentacloreto de antimônio ou tetracloro de titânio
	Amarelo-de-quinoftalona	-----
Amarelo-de-isoindolina	$C_{16}H_9N_5O_6$ / Ácido barbitúrico combinado com isoindolina.	
Amarelo 4G níquel	Complexo de níquel de derivado	

Amarelo		pirimidino.
	Amarelo-dioxino (níquel)	Complexo de níquel de um composto orgânico (não classificado)
	Amarelo-de-benzimidazolona	Um derivado de anilina diazotizado combinado com um derivado de acetoacetil de 5-aminobenzimidazolona.
	Amarelo-de-benzimidazolona 3G	
	Amarelo-de-benzimidazolona HLR	
Amarelo-de-benzimidazolona H6G		
Azul	Ftalociamina-de-cobre	$C_{32}H_{16}CuN_8$ / Ftalociamina-de-cobre da forma cristal alfa
	Ftalocianina de metal-livre	$C_{32}H_{18}N_8$ / Átomo metálico eliminado de cobre (PB 15)
	Azul-de-indantrona	$C_{28}H_{14}N_2O_4$ / 2-aminoantraquinona tratada com hidróxido de potássio na presença de um sal de potássio
Laranja	Laranja-de-dinitranilina	$C_{16}H_{10}N_4O_5$ / 2,4-dinitranilina diazotizada combinada com 2-naftol
	Laranja-de-benzimidazolona HL	$C_{17}H_{12}ClN_6O_5$ / 4-cloro-2-nitroanilina diazotizado combinado com N-(2-oxo-5-benzimidazolil) acetoacetamida
	Laranja-de-perinona	$C_{26}H_{12}N_4O_2$ / o-fenilenediamina aquecida com ácido tetracarboxílico 1, 4, 5, 8-naftaleno
	Quinacridona ouro-escuro	$C_{20}H_{12}N_2O_2$ & $C_{20}H_{10}N_2O_4$ / Solução sólida de produtos derivados do ácido ciclizado 2,5-diarilaminotereftálico
	Laranja-de-benzimidazolona GHL	Um derivativo de anilina diazotizado combinado com um derivado acetoacetil de 5-aminobenzimidazolona
	Laranja-de-benzimidazolona H5G	
Verde	Verde-de-ftalocianina	$C_{32}H_{16}CuN_8Cl_{15}$ / Ftalocianina de cobre policloro contendo 15 ou 16 átomos na molécula. A maioria dos produtos comerciais contém 15 átomos.
	Verde-de-hooker	$C_{30}H_{18}FeN_3O_6 \cdot Na$ / Composto de bissulfito de 1-nitroso-2-naftol (C.I. verde-mordante 4) reagido com sulfato ferroso e depois com hidróxido de sódio.
	Amarelo-azo-de-níquel	$C_{30}H_{18}Cl_2N_6NiO_4$ / P-cloroanilina diazotado combinado com 2,4-quinolinodiol e convertido ao complexo de níquel.
	Ftalocianina cúprica clorada e bromada	$C_{32}Br_6Cl_{10}CuN_8$ / Decacloro-hexabromo derivado da ftalocianina cúprica
Naftol ITR	$C_{30}H_{31}ClN_4O_7S$ / N' diazotizado, N'-	

		dietil-4-metoxisulfanilamido dimetox-2-naftanilido
	Vermelho-de-naftol F4HR	C <sub>25</sub> H <sub>19</sub> Cl <sub>2</sub> N <sub>3</sub> O <sub>2</sub> / 4-cloro-o-toluidino diazotizado combinado com 4'-cloro-3-hidroxi-2-nafto-o-toluidido
	Garança-rosa-natural	Raiz pulverizada da <i>Rubia tinctorium</i> precipitada sobre uma base de hidrato de alumina
	Vermelho-de-naftol FRL	C <sub>24</sub> H <sub>17</sub> Cl <sub>2</sub> N <sub>3</sub> O <sub>3</sub> / 2,5 – dicloroanilina diazotizada combinada com 3-hidroxi-2-nafto-o-aisido
	Naftol AS-OL	C <sub>24</sub> H <sub>17</sub> ClN <sub>4</sub> O <sub>3</sub> / 4-cloro-2-nitroanilina diazotizada com 3-nitro-2-nafto-o-toluidido
	Vermelho-de-naftol AS-D	C <sub>24</sub> H <sub>20</sub> N <sub>4</sub> O <sub>5</sub> / 5-nitro-o-toluidino diazotizado combinado com 3-hidroxi-nafto-o-toluidido
		C <sub>24</sub> H <sub>16</sub> Cl <sub>3</sub> N <sub>3</sub> O <sub>2</sub> / 2,4,5-tricloroanilina diazotizado combinado com 3-hidroxi-2-nafto-o-toluidido
	Carmim-de-alizarina	C <sub>14</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub> / Tintura de antraquinona convertida para o sal de cálcio na presença de hidrato de alumina e uma pequena porcentagem de óleo de rícino sulfonado.
	Vermelho-de-tiondíóide	C <sub>16</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>4</sub> O <sub>2</sub> S <sub>2</sub> / (2,5-diclorofenilmercaeto) ácido acético aquecido com ácido clorosulfônico ou com ácido sulfúrico concentrado
	Vermelho-de-naftol FG	C <sub>33</sub> H <sub>27</sub> N <sub>3</sub> O <sub>8</sub> S / diazotizado 4-(4-metoxicarbonil-fenox-sulfonil-toluidina combinado com 3-hidroxi-2-nafto-toluidina)
	Magenta-de-quinacridona Y	C <sub>22</sub> H <sub>16</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / 2,9-dimetil derivado do ácido diarilaminotereftálico-2,5-ciclização ou dihidroquinacridona oxidado
	Rubro-de-perileno	C <sub>40</sub> H <sub>26</sub> N <sub>2</sub> O <sub>6</sub> / 3,4,9,10-perilenatetracarboxílico anidrido condensado com p-etoxianilina
	Carmim-de-naftol FBB	C <sub>33</sub> H <sub>27</sub> ClN <sub>4</sub> O <sub>6</sub> / 3-amino-p-anisilida diazotizado com 4'-cloro-3-hidroxi-2,5'-dimetox-2-naftanilida
	Vermelho-de-perileno BL	C <sub>40</sub> H <sub>26</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> / 3,4,9,10-ácido perilenatetracarboxílico condensado com 3,5-dimetilanilina
Antrantrona brominada	C <sub>22</sub> H <sub>8</sub> Br <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / Antrantrona brominada	
Vermelho-de-naftol F5RK	C <sub>26</sub> H <sub>22</sub> N <sub>4</sub> O <sub>4</sub> / p-aminobenzamida diazotizada combinada com 3-hidroxi-2-	

		nafto-o-fenetidida
	Vermelho-de-benzimidazolona HFT	$C_{26}H_{19}N_5O_5$ / metinantranilato diazotizado combinado com 3-hidroxi-N-(2-oxo-5-benzimidazolil)-2-naftamida
	Vermelho-de-antraquinóide	$C_{28}H_{16}N_2O_4$ / Produto da condensação de 1-amino-9,10-antraquinona
	Vermelho-de-perileno	$C_{48}H_{26}N_{60}O_4$ / ácido 3,4,9,10-perileno-tetracarboxílico condensado com p-fenilazo-anilina
	Marrom-de-perileno	$C_{26}H_{14}N_2O_4$ / Derivado denaturado de 3,4,9,10-perileno-tetracarboxílico diimide
	Vermelho-de-naftol HF3S	$C_{33}H_{24}Cl_2N_4O_6$ / Éster metílico ácido benzóico 2-amino-4-(2,5-diclorofenilcarbonilcarbamoyl) diazotizado combinado com 3-hidroxi-nafto-o-anisidado
	Escarlate-de-perileno	$C_{38}H_{22}N_2O_6$ / ácido 3,4,9,10-perileno-tetra-carboxílico condensado com p-anisidina
	Vermelho-de-quinacridona Y	-----
	Vermelho-de-perinona-escuro	-----
	Escarlate-de-quinacridona	$C_{20}H_{12}N_2O_2$ & $C_{20}H_{10}Cl_2N_2O_2$ / Solução sólida de produtos derivados de ácido 2,5-diarila-minotereftálico ciclizado
	Violeta/vermelho-de-quinacridona	$C_{20}H_{12}N_2O_2$ / ácido 2,5-diarilaminotereftálico ciclizado ou diidroquinacridona oxidado. Matiz depende do formato e tamanho particular do cristal.
	Violeta-de-dioxazina	$C_{34}H_{22}Cl_2N_4O_2$ / 3-amino-9-etilcarbazol condensado com cloranil em triclorobenzeno
	Violeta-de-isoviolantrona	-----

Alguns desses pigmentos já foram experimentados, tendo bons resultados de fixação com o pó de osso e/ou com o agente infiltrante. É importante que o pigmento se ligue a hidroxiapatita, resultando em melhor pigmentação que em relação ao agente infiltrante ou até mesmo ao agente de acoplamento.

Essa etapa demandou maior tempo que o previsto, pois muitos pigmentos necessitaram ser sintetizados. Foram obtidos dez tipos de pigmentos – orgânicos e inorgânicos – e cores diferenciadas, como a hematita (vermelho escuro), a dimetilglioxina de níquel (vermelho), solução de azul de metileno, solução de cloreto de cobre (verde-água), solução de vermelho de drimarem (rosa choque), solução de

cloreto de cobalto (lilás), solução de acetato de cobre (verde petróleo), solução de cloreto de ferro em água (ocre dourado), óxido de titânio (branco) e óxido de cobre (preto).

Devido à vasta gama de pigmentos, tomou-se como objetivo sintetizar apenas os pigmentos cujas cores sejam semelhantes às dos corais mais valiosos, como todos os vermelhos, rosas, branco, preto e o “pele de anjo” (branco com fundo de vermelho).

### **2. 3. Experimental**

Consiste em ensaios de produtos, para verificação da melhor aplicabilidade técnica e estética do compósito, combinada a outros materiais; especificação dos contornos e aspectos particulares do processo. É imprescindível a obtenção do material, para então dedicar-se aos estudos das técnicas de joalheria relacionadas ao mesmo. Quaisquer que sejam as características e propriedades do material a ser obtido, é provável que ele permita o design de superfícies (como entalhe, gravação, etc.). Deverá se atentar quanto ao ponto de fusão do material em questão e o dos metais, como ouro e prata, para saber se poderão ser trabalhados sob alta temperatura para a modelagem.

### **2. 4. Conclusiva**

A conclusão do projeto propõe a aplicação do material em um produto ou linha de produtos.

Atualmente, foi aprovada uma segunda bolsa de Iniciação Científica pela Fapemig, para dar continuidade ao projeto em questão

## **3. RESULTADOS OBTIDOS**

Devido à complexidade do projeto, os resultados obtidos foram comentados já no item anterior, de Material e Métodos. Em suma, pode-se dizer que as etapas de base teórica e de desorganificação do osso foram concluídas com sucesso. A etapa de pigmentação encontra-se já bastante adiantada, mas está atrelada às etapas de agente de acoplamento e de agente infiltrante, as quais estão em desenvolvimento. Com a conclusão dessas três últimas etapas abordadas, será possível melhor desenvolver as etapas experimental e conclusiva.

#### **4. DISCUSSÃO**

O projeto encontra-se em desenvolvimento, como já anunciado. Da etapa de base teórica, pode-se elucidar o seguinte: os simuladores de gemas não são estritamente materiais ecológicos (sustentavelmente ecológicos). No entanto, têm propriedades mais interessantes que resinas vegetais, como a homogeneidade (importante para a produção em escala industrial e até mesmo artesanal), a resistência mecânica (menos propensas à quebra, corrosão, etc.), etc. Além disso, a hidroxiapatita liga-se de forma satisfatória a um determinado agente infiltrante, o qual ainda está sendo testado, e não corresponde aos simuladores de gemas já descritos, sendo um material inédito na literatura. Assim, pode-se falar em compósito, um material multifásico feito artificialmente, em contraste com um material que ocorre ou se forma naturalmente. Além disso, as fases constituintes devem ser quimicamente diferentes e devem estar separadas por uma interface distinta (CALLISTER, W. D.; 2002). Semelhantes às resinas vegetais são os pigmentos naturais (orgânicos), que apresentam variações de suas propriedades e características, não sendo adequados ao material em desenvolvimento, o qual busca otimizar características dos corais, isto é, ser impermeável e apresentar cores dos corais nobres, em extinção. A sustentabilidade do material diz respeito, portanto, ao uso do osso, que se trata de uma matéria-prima “verde”, ainda amplamente descartada ou subaproveitada e que se encontra disponível em grandes quantidades no Brasil. Não obstante, esse material, um novo simulador da gema de coral, preenche a necessidade da joalheria contemporânea de usar matérias-primas renováveis.

#### **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este projeto contribui com um material inovador nas áreas do Design de Jóias, de Química Inorgânica, Gemologia e de Engenharia de Materiais, sendo passível de patente. Ao fim do desenvolvimento do material, objetiva-se que ele se qualifique de acordo com as características do design para a sustentabilidade.

#### **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ANDERSON, B. W. *A Identificação das Gemas*. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1984.

2. CALLISTER, W. D. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
3. CAMPOS, J. E. S., FRANCO, R. R. *As Pedras Preciosas – Noções Fundamentais*. São Paulo: São Paulo Editora S.A., 1965.
4. CASTRO, M. L. A. C., CARRARO, C. L. *O resgate da ética no design: a evolução da visão sustentável*. Anais do 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. São Paulo, 2008.
5. CODINA, C. *A Joalheria*. Lisboa: Editorial Estampa, 2000.
6. CODINA, C. *The New Jewelry: Contemporary Materials and Techniques*. New York: Lark Books, 2004.
7. ETCHEPARE, H. D. *Contribuição do Ecodesign na utilização de subprodutos de origem animal (ossos e chifres) para fabricação de artefatos diversos*. Dissertação de mestrado. Porto Alegre: UFRGS, 2005.
8. FIGUEIREDO A. S., FAGUNDES D. J., NOVO N. F., JULIANO Y., INOUE C.M. *Comparação entre hidroxiapatita porosa de coral e enxerto ósseo autógeno em coelhos*. Acta Cir Brás, v. 9, n. 23, 1995.
9. FRANCO, R. R., CAMPOS, J. E. S. *As pedras preciosas – noções fundamentais*. São Paulo: São Paulo Editora, 1965.
10. HABERKO, K.; BUCKO, M.M.; MUCZNIK, J.B. *Natural Hydroxyapatite Properties, Thermal Evaluation*. Cracow: Jagiellonian University, 2003.
11. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (IBGE) *Abate de bovinos (número de animais e equivalente carcaça)*. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. (acessado em 27 de janeiro de 2008).
12. LODY, R. *Jóias de axé: fios-de-contas e outros adornos: a joalheria afro-brasileira*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.
13. MANZINI, E., VEZZOLI, C. *O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis – Os Requisitos Ambientais dos Produtos Industriais*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.



14. MAYER, R. *Manual do Artista*. São Paulo: Martins Fontes, 1999.
15. NASSAU, K. *Gemstone Enhancement: History, Science and State of the Art*. London: Butterworth-Heinemann, 1984.
16. PAEZ, O. L. A., *Coral Porites astreoides associado ou não à medula óssea autógena no preenchimento de falhas produzidas na tíbia de cães*. Dissertação de mestrado. Viçosa: UFV, 2006.
17. ROESE, P. B. *Design e Materiais: síntese e caracterização de um compósito osso bovino (inorgânico) – epóxi para uso em artefatos diversos*. Trabalho de diplomação. Porto Alegre: UFRGS, 2006.
18. ROSENA, V.B.; HOBBSA, L.W.; SPECTROB, M. *The ultrastructure of anorganic bovine bone and selected synthetic hydroxyapatites used as bone graft substitute materials*. *Biomaterials*, v. 23, 2002.
19. SMITH, G. F. H. *Gemstones*. London: Cheapman an Hall; 1972.
20. WEBSTER, R. *Gems: Their Sources, Descriptions and Identification*. London: Butterworth-Heinemann, 1994.
21. WHITE E., SHORS E. C. *Biomaterial aspects of Interpore-200 porous hydroxyapatite*. *Dent Clin North Am.*, 1986.

Foram acessados os seguintes sites, durante o mês de julho de 2008:

1. 3 Arts Studio <http://www.3arts-studio.com/>
2. Abrasha <http://www.abrasha.com/index.html>
3. Adeguimar Arantes <http://www.joiabr.com.br/designer/adeg.html>
4. Adriana da Riva <http://onne.com.br/conteudo/904/arquitetura-em-j-ia>
5. AGTA – American Gem Trade Association <http://www.agta.org/>
6. AJESP <http://www.ajesp.com.br/portal/>
7. AJOMIG <http://www.ajomig.com.br/>
8. AJORESP <http://www.ajoresp.com.br/asp/>
9. AJORIO <http://www.ajorio.com.br/portal/index.php>
10. AJORSUL <http://www.ajorsul.com.br/>
11. Alex Sepkus <http://www.alexsepkus.com/flash.php>
12. Amichoco ONG: <http://www.amichoco.org/>
13. Amsterdam Sauer <http://www.amsterdamsauer.com/novo/portugues/index.asp>

14. Ana Khouri <http://www.anakhouri.com.br/>
15. André Ribeiro <http://www.andre-ribeiro.de/>
16. Andrzej Glodowski <http://www.agdesign.com.pl/>
17. Andy Cooperman Jewelry <http://coopermanjewelry.com/>
18. Angela Hübel <http://www.angelahuebel.de/>
19. AngloGold Ashanti <http://www.anglogold.com/default.htm>
20. Antonio Bernardo <http://www.antoniobernardo.com.br/>
21. Ara Vartanian <http://www.ara.com.br/>
22. Art Jewelry Magazine <http://www.artjewelrymagazine.com/>
23. Arts Fish <http://www.artsfish.com/>
24. Associação dos Designers de Jóias e Bijuterias <http://www.adesignse.com.br/>
25. Atelier für Schmuck <http://www.buchertbuege.de/>
26. Atelier Zobel <http://www.atelierzobel.com/>
27. Baccarat <http://www.baccarat.com/en/jewelry-fashion-accessories.htm>
28. Baharal Gnida <http://www.baharal-gnida.com/>
29. Barbara Heinrich Studio <http://www.barbaraheinrichstudio.com/barbara.html>
30. Barbara Schulte-Hengesbach <http://www.schulte-hengesbach.de/>
31. Barbara Westwood <http://www.barbarawestwood.com/>
32. Bliss Art <http://www.bliss-art.com/collectie/index.html>
33. Blog Jewel Splendor <http://jewelsplendor.blogspot.com/>
34. Blog Jóia BR <http://joiabr.blogspot.com/>
35. Brazil Gem Show <http://www.brazilgemshow.com/en/index.htm>
36. Brumani <http://www.brumani.com/brumani/index.jsp>
37. Bvlgari <http://www.bulgari.com/>
38. Camila Klein <http://www.camilaklein.com.br/>
39. Carla Amorim <http://www.carlaamorim.com>
40. Carl Dau Berlin <http://www.dau-berlin.com/>
41. Carol Kauffmann <http://www.joiabr.com.br/designer/ckauff.html>
42. Carolyn Morris Bach <http://carolynmorrisbach.com/>
43. Carol Webb Studio <http://www.carolwebbstudio.com/>
44. Carrie Adell <http://knot-working.com/carrie/>
45. Cartier <http://www.cartier.com/>
46. Casa Leão <http://www.casaleao.com.br/>
47. Cecília J. Annunziata <http://www.joiabr.com.br/designer/ceciliaann.html>
48. Cecília Porto <http://www.ceciliaporto.com.br/>
49. Cecil Mattar <http://www.cecilmattar.com.br/>
50. Chislaine Lanza <http://www.joiabr.com.br/designer/chis.html>
51. CIBJO – The World Jewellery Confederation <http://www.cibjo.org/>
52. Concepts Carmel [http://www.conceptscarmel.com/jeff\\_wise.htm](http://www.conceptscarmel.com/jeff_wise.htm)
53. Corsage <http://corsage.com.br/>
54. Council for Responsible Jewellery Practices  
<http://www.responsiblejewellery.com/>
55. CR Bruner <http://www.crbruner.com.br/jsp/portal.jsp>
56. D4U Web <http://www.brand-watch.net/index.php>
57. De Novo Jewelry <http://www.denovo.com/>
58. Devta Doolan <http://www.devtadoolan.com/>
59. Diamond News <http://www.diamondnews.com.br/>
60. Diamonds Facts <http://www.diamondfacts.org/>
61. Dryzun <http://www.dryzun.com.br/>
62. Elisa Stecca <http://www.elisastecca.com.br/>
63. Elsa Vanier Gallery <http://www.elsa-vanier.fr/>
64. Enric Majoral <http://www.majoral.com/html/majoral/index.html>
65. Escola de Joalheria Arte Metal <http://www.escolaartemetal.com.br/>
66. Espaço Mix <http://www.atelieespacomix.com.br/>
67. Espaço Rita Santos <http://www.espacoritasantos.com.br/>

68. Euro Relógios <http://www.eurorelogios.com.br/>
  69. Exotic India Art <http://www.exoticindiaart.com/jewelry/Fashion/>
  70. Fabrizio Giannone <http://www.fabriziogiannone.com/>
  71. Facère Jewelry Art Gallery <http://www.facerejewelryart.com/>
  72. Feninjer [http://feninjer.com.br/pt/visitante/pagina\\_inicial](http://feninjer.com.br/pt/visitante/pagina_inicial)
  73. Fillner <http://www.fillner.ch/>
  74. Folheados e Associados <http://www.folheadoseassociados.com.br/portal/site/>
  75. Free Hand Gallery <http://www.freehand.com/>
  76. Galerie Orfeo <http://www.galerie-orfeo.com/>
  77. Galleria Borghesi [http://www.borghesi.it/engl/index\\_en.htm](http://www.borghesi.it/engl/index_en.htm)
  78. Gallery Flx <http://www.galleryflux.com/>
  79. GEA – Gems Exported Association <http://www.geabrasil.com/principal.php>
  80. Gellner <http://www.gellner.com/>
  81. Gems Brokers <http://www.gemsbrokers.org/>
  82. Geoffrey Roth Gallery <http://www.geoffreyrothgallery.com/>
  83. GIA – Gemological Institute of America <http://www.gia.edu/>
  84. Gioielli Pantalena <http://www.gioiellipantalena.com/>
  85. Giovanni Corvaja <http://freenet-homepage.de/giovanni-corvaja/Homepage/home.htm>
  86. Gold Design Studio Hungria <http://www.golddesignstudio.hu/>
  87. Goph Studios <http://www.gophstudios.com/>
  88. Guerreiro <http://www.guerreiro.com.br/index.html>
  89. Guilherme Duque <http://www.guilhermeduque.com.br/>
  90. Gurhan <http://www.gurhan.com/home.asp>
  91. Heiko Schrem <http://www.schrem.com/>
  92. Henrich - Denzel <http://henrich-denzel.de/>
  93. H. Stern <http://www.hstern.net/site/home/default.asp>
  94. Humphrey <http://www.humphrey.at/>
  95. IBGM – Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos  
<http://www.ibgm.com.br/>
  96. Info Jóia <http://infojoia.com.br/>
  97. Izabel Esteves [http://www.daslu.com.br/lojas\\_izabel\\_esteves.php?cat\\_id=0](http://www.daslu.com.br/lojas_izabel_esteves.php?cat_id=0)
  98. Jack Vartanian <http://jackjewels.com.br/>
  99. Jade Jagger <http://www.jadejagger.co.uk/>
  100. JCK Toronto Jewellery Fashion Show  
<http://www.jcktoronto.ca/App/homepage.cfm?moduleid=3944&appname=10052>
- 3
101. Jean François Albert <http://www.jfadesigns.com/>
  102. Jennifer Trask <http://www.jennifertrask.com/Site/Home.html>
  103. Jewelers Vigilance Committee <http://www.jvclegal.org/>
  104. Jewellery Art <http://www.jewellery-art.co.uk/ethnic-jewellery.html>
  105. Jewelry Making <http://jewelrymaking.allinfoabout.com/>
  106. JFM Werken <http://www.jfmwerken.nl/>
  107. Joalheria Casa Castro <http://www.joalheriacasacastro.com.br/>
  108. Jóia Eu Uso <http://www.joiaeuuso.com.br/>
  109. Jóias da cor do Brasil <http://www.joiasdacordobrasil.com.br/>
  110. Jota Jóias <http://www.jotajoias.com.br/index.htm>
  111. Juliana Pellegrini <http://www.julianapellegrini.com/>
  112. Juliana Scarpa <http://www.julianascarpa.com.br/site/>
  113. Julieta Castro <http://www.julietadecastro.com.br/julieta.swf>
  114. Julio Okubo <http://www.juliookubo.com.br/>
  115. Julre Designs <http://www.julredesigns.com/>
  116. Juni Jewels <http://www.junijewels.de/start.html>
  117. Kamille Bernard <http://www.kamillebernard.com.br/>
  118. Karen Gilbert <http://www.karengilbert.com/>

119. Kelika Tropical Jewelry <http://www.kelikaenterprises.com>
120. Khulsey Jewelry [http://www.khulsey.com/jewelry/kh\\_jewelry\\_info.html](http://www.khulsey.com/jewelry/kh_jewelry_info.html)
121. Kimberly Process <http://www.kimberleyprocess.com/>
122. Kiwon Wang <http://www.kiwonwang.com/>
123. Klarity <http://www.klarity.org/>
124. Lady Fingers Jewelry <http://www.ladyfingersjewelry.com/>
125. Lapidary Journal Jewelry Artist Magazine <http://www.lapidaryjournal.com/>
126. Leticia Linton <http://lbdesign.com.br/>
127. Luis Carlos Okubo <http://www.luizcarlosokubo.com.br/>
128. Macin Zaremski <http://www.zaremski.pl/>
129. Maharaja Jewel <http://www.maharajajewel.com/>
130. Mariana Amorim <http://www.marianaamorim.com.br/>
131. Maria Eudoxia <http://www.meudoxia.com.br/>
132. Maria José Cavalcanti <http://www.mariajosecavalcanti.com/>
133. Marzee <http://www.marzee.nl/>
134. Matteo Fumagalli  
[http://www.matteofumagalli.com.br/matteo/matteo\\_fumagalli\\_desenvolveu\\_com.htm](http://www.matteofumagalli.com.br/matteo/matteo_fumagalli_desenvolveu_com.htm)
135. MB Gem Works <http://www.mbgemworks.com/>
136. Michele French <http://www.michelefrench.com>
137. Miriam Mamber <http://www.miriammamber.com.br/>
138. Momusssk <http://www.momusssk.com.br/site/>
139. Monalisa Jóias <http://monalisajoias1.tempsite.ws/>
140. Mont Blanc Jewellery <http://www.montblanc.com/products/15.php>
141. Montecristo <http://www.montecristo.com.br/>
142. Munsteiner <http://www.munsteiner-cut.de/>
143. Natan <http://www.natan.com.br/>
144. Niessing <http://www.niessing.com/>
145. Niki Kavakonis Design <http://www.nikikavakonisdsgns.com/>
146. Nixon <http://www.nixonnow.com/>
147. Odara <http://www.odara.art.br/>
148. Old and Sold <http://www.oldandsold.com/>
149. Omega <http://www.orientshop.com.br/home1.asp>
150. Orient <http://www.orientshop.com.br/>
151. Ornament Magazine <http://www.ornamentmagazine.com/>
152. Ornamentum Gallery <http://www.ornamentumgallery.com/gallery/index.php>
153. Patrícia Centurion <http://www.patriciacenturion.com.br/website/>
154. Patricia Mb Gotthilf <http://www.patriciambgotthilf.com.br/links/abertura.swf>
155. Parrish Relics <http://www.parrishrelics.com/catalog.html>
156. Pave Fine Jewelry Design <http://www.pavefinejewelry.com/>
157. Peter Skubic <http://www.peterskubic.at/index.html>
158. Petra Class <http://petraclass.net/>
159. Philip Sajet <http://www.auquai.com/>
160. PIN – Associação Portuguesa de Joalheria Contemporânea <http://www.pin.pt/>
161. Portal Jóia Br <http://www.joiabr.com.br/index.html>
162. Portal das Jóias <http://www.portaldasjoias.com.br/index.php>
163. Projeto Rumos <http://www.projektorumos.com.br/>
164. Rado <http://www.rado.com/en/Pages/home.aspx>
165. Ramo Joalheiro <http://www.ramojoalheiro.com.br/home/>
166. Renato Wagner <http://www.renatowagner.com/>
167. Revista BRJ <http://www.revistabrj.com.br/>
168. Rosana Chinche <http://www.rosanachinche.com.br/>
169. Royal Jewellery China <http://www.royaljewellery.cn/royal/index.asp>
170. Ruth Grieco <http://www.ruthgrieco.com.br/>
171. Sacred Craft Work <http://www.sacredcraftwork.com/>

172. Sarah Graham <http://www.sarahgraham.com/>
173. Sara Jóias <http://www.sarajoias.com/>
174. Schmuck Werk <http://www.schmuckwerk.de/>
175. Sculpture Mode <http://www.sculpturemode.com/>
176. She-Lo <http://www.she-lo.com/>
177. Si Collections <http://sicollections.com/>
178. Silvia Furmanovich <http://www.silviafurmanovich.com.br/>
179. Sindipedras <http://www.sindipedras.com.br/>
180. Society of North American Goldsmiths <http://www.snagmetalsmith.org/>
181. Solange Azagury-Partridge <http://www.solangeazagurypartridge.com/>
182. Sonia Pasetti <http://www.joiabr.com.br/designer/soniapasetti.html>
183. Steven Kretchmer <http://www.stevenkretchmer.com/>
184. Stuart Moore <http://www.stuartmoore.com/>
185. Sueli Chieppe <http://suelichieppe.com.br/>
186. Sugarman Designs <http://www.sugarmandesigns.com/>
187. Susan Chin <http://www.susanchin.com/>
188. Sustainable Jewellery <http://www.sustainablejewellery.org/>
189. Suzane Farias <http://www.suzanefarias.com.br/site/>
190. Swamis & Co. <http://www.swamius.com/>
191. Swarovski <http://www.swarovski.com/>
192. Swatch bijoux [http://www.swatch.com/zz\\_en/bijoux.html](http://www.swatch.com/zz_en/bijoux.html)
193. Sydney Lynch Jewelry <http://www.sydneylynch.com/>
194. Taboo Studio  
[http://www.taboostudio.com/artist\\_dtl.asp?artist=Marcia%20Macdonald](http://www.taboostudio.com/artist_dtl.asp?artist=Marcia%20Macdonald)
195. Tactoo Ring <http://www.tactoo.com>
196. Talento Jóias <http://www.talentojoias.com.br/site/index.html>
197. Tecnogold <http://www.tecnogold.com.br/action/pt/principal>
198. TechnoMarine <http://www.technomarine.com/>
199. Tendenzen Goldschmiede <http://tendenzen-goldschmiede.de/>
200. The Brazilian Guild of Jewelry Designers <http://www.thebrazilianguild.com/>
201. The Vault Gallery <http://www.thevaultgallery.com/>
202. Thomas Mann Design <http://www.thomasmann.com/>
203. Tiffany & Co. <http://www3.tiffany-on-sale.biz/>
204. Tíssima <http://www.tissima.com.br/>
205. Tissot <http://www.tissot.ch/>
206. Todd Reed <http://www.toddreed.com/>
207. Treasure box <http://www.treasurebox.co.uk/>
208. Twist online <http://www.twistonline.com/>
209. Uta Knoop <http://www.uta-knoop.de/knoop/index.html>
210. Velvet Da Vinci <http://www.velvetdavinci.com/>
211. Verde Rocks <http://www.verderocks.com/>
212. Villar <http://www.villar.com.br/>
213. Vivara <http://www.vivara.com.br/>
214. Yael Sonia <http://www.yaelsonia.com.br/>
215. Yossi Harari <http://www.yossiharari.com/>
216. Williem Zimmer Gallery [http://www.williamzimmertgallery.com/index\\_start.html](http://www.williamzimmertgallery.com/index_start.html)
217. World Diamond Council <http://www.worlddiamondcouncil.com/>

## 7. AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda a equipe do Laboratório de Química Inorgânica do Departamento de Química da UFMG, cujo suporte técnico e amizade são inestimáveis, bem como ao

Centro de Estudos em Design de Gemas e Jóias da Escola de Design da UEMG, sem o qual esse projeto não seria possível.