

Artigo completo

Semear futuros

Projeto de composteira modular *open source* a partir do design centrado no ser humano

 **Arthur Carvalho de Araújo**

carvalho.design@outlook.com.br

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória (ES),
Brasil.

 **Katia Broeto Miller**

katia.miller@ufes.br

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória (ES),
Brasil

 **Jacqueline Rogéria Bringhenti**

jacquelineb@ifes.edu.br

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória (ES),
Brasil

Resumo: O artigo apresenta o desenvolvimento e avaliação da composteira modular doméstica, denominada MoBio, tendo como objetivo aprimorá-la a partir da avaliação com voluntários. Três modelos resultantes de oficinas de cocriação e testes de usabilidade anteriores, foram desenvolvidos e submetidos à dinâmica Vote Visualmente para concluir qual projeto melhor atenderia a critérios pré-estabelecidos. O resultado foi a combinação de soluções em um novo modelo digital, construído e distribuído para voluntários juntamente com formulários e diário de operação para monitoramento do desempenho. Os resultados forneceram subsídios para o aprimoramento do modelo, além de contribuir para futuros projetos. A pesquisa evidencia que a abordagem de design centrado no ser humano, combinada com ciclos iterativos, é fundamental para o desenvolvimento de produtos funcionais e que o apelo estético e ambiental, bem como a autofabricação, tem potencial para alterar a configuração do objeto.

Palavras-chave: compostagem; open design; ciclos iterativos; avaliação de usabilidade; autofabricação.

Open-source modular composter project based on user-centered design

Abstract: *The article presents the development and evaluation of a modular domestic composter, named MoBio, aiming to improve it based on evaluation with volunteers. Three models resulting from co-creation workshops and previous usability tests were developed and submitted to the “Visual Voting” dynamic to determine which project would best meet pre-established criteria. The result was the combination of solutions into a new digital model, built and distributed to volunteers along with forms and an operation log for performance monitoring. The results provided support for the improvement of the model, in addition to contributing to future projects. The research demonstrates that a human-centered design approach, combined with iterative cycles, is fundamental for the development of functional products, and that aesthetic and environmental appeal, as well as self-fabrication, have the potential to alter the configuration of the object.*

Keywords: *composting; open design; iterative cycles; usability evaluation; DIY manufacturing.*

1. Introdução

A MoBio 1.0 é uma composteira modular de uso doméstico, sendo seu design baseado em móveis, direcionando sua inserção para áreas mais nobres da residência tais como salas e varandas (Figura 1), aproximando os moradores ao processo de compostagem (Cometti, 2021). Sua versão inicial – denominada MoBio 1.0 – foi construída em representação tridimensional em escala reduzida, utilizando impressão 3D e filamento PLA.

Figura 1: Composteira modular projetada e seus elementos básicos



Fonte: autores

O desenvolvimento dessa composteira ocorreu na parceria entre os cursos de Design, Engenharia Sanitária e Ambiental e Tecnologias Sustentáveis da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes) e do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes). Em 2024, a composteira obteve o selo de patente verde (Bringhenti et. al, 2021), acarretando em desdobramentos de pesquisas para aperfeiçoá-lo. Nesta versão foram conduzidos testes de Usabilidade que apontaram problemas de instabilidade, abertura das gavetas, coletor de chorume, material não estanque e de apelo pouco sustentável, falta de travamento dos rodízios e disposição inadequada do sistema de ventilação (Sacramento et al., 2023; Miller et al., 2024).

Composteiras de pequeno porte vêm sendo objeto de estudo há tempos, evidenciando sua praticidade de construção, manutenção e possibilidade de inserção em ambientes com restrição de espaço (Rocha et al., 2022; Shuai, 2022). No entanto, o limitado número de abordagens voltadas ao desenvolvimento de soluções orientadas ao design e, acima de tudo, atreladas à construção dessas composteiras utilizando tecnologias de fabricação digital ressaltam a necessidade de estudos mais profundos acerca do tema, levando em consideração fatores ergonômicos e ciclos iterativos.

Com o objetivo de encontrar soluções e testar hipóteses baseados nos problemas apresentados com a MoBio 1.0, foram conduzidos ciclos iterativos por meio de oficinas de cocriação com modelos conceituais idealizados a partir dessa compilação (Araújo et al., 2024; Pereira et al. 2025). Os pesquisadores constataram ser o modelo intitulado Caixotes Empilháveis (Figura 2) como o projeto a ser continuado e aprimorado, combinando soluções identificadas pelos participantes nas oficinas, potencial de autofabricação e desempenho superior quando comparado a outros modelos.

O modelo Caixotes Empilháveis é composto de caixas-módulos com sistema de travamento entre os andares, oferecendo estabilidade ao conjunto; rodízios nos pés traseiros, mantendo o conjunto estático; trilha rebaixada no módulo coletor de chorume, que direciona o líquido para a abertura (Pereira et al., 2025) (Figura 2). Seu design foi projetado para ser construído com o uso de fresadora de Controle Numérico Computadorizado (CNC) e encaixes com pregos ou parafusos.

Figura 2: Modelo caixotes empilháveis



Fonte: autores

O presente artigo apresenta a metodologia utilizada para avaliação do modelo Caixotes Empilháveis eleito na oficina Vote Visualmente a ser continuado a partir da dinâmica realizada por Pereira et al. (2025), levando em consideração a capacidade dos usuários em executar as tarefas conforme os critérios estabelecidos pela NBR ISO 9241-11 (ABNT, 2021), a partir de ciclos iterativos de 45 dias com protótipos físicos.

O trabalho está estruturado em cinco partes: fundamentação teórica que apresenta os conceitos; metodologia adotada para avaliação do objeto; resultados e análises obtidas com a aplicação metodológica; e conclusões a partir dos ciclos iterativos com os usuários.

2. Fundamentação teórica

Este tópico apresenta os conceitos fundamentais que nortearam a pesquisa, bem como a forma com que contribuíram para o direcionamento e condução das etapas metodológicas.

2.1 Compostagem

A compostagem é a decomposição biológica dos resíduos orgânicos em condições controladas de aerobiose e efetuada por microorganismos (ABNT, 1996).

No Brasil menos de 2% dos resíduos são destinados para a compostagem por meio de sistemas centralizados (IPEA, 2012). No entanto, há formas não centralizadas como a compostagem domiciliar, geralmente realizada em jardins ou áreas de serviço com quantidades pequenas de resíduos e sistemas simplificados, que em ambientes urbanos são praticadas em composteiras (Pinto, 2015).

Entre os fatores que influenciam a compostagem tem-se os parâmetros físicos, químicos e biológicos, tais como temperatura e relação carbono/nitrogênio (Pinto, 2015), mas também comportamentais que incluem a facilidade da rotina operacional demandada pelo equipamento.

Além disso, Keramitsoglou e Tsagarakis (2018) citaram que estímulos adequados do projeto de gestão dos resíduos podem aumentar substancialmente a probabilidade de comportamentos para a prática da reciclagem, indicando ainda que a contribuição das pessoas no processo de desenvolvimento da solução pode melhorar a participação.

2.2 Design Centrado no Ser Humano e ergonomia

A pesquisa baseia-se em abordagem do Design Centrado no ser Humano, prevendo a inserção dos indivíduos em todas as etapas de desenvolvimento e avaliação do produto (Rogers; Sharp; Preece, 2013). A abordagem une referenciais ergonômicos, processos iterativos e técnicas participativas para compreender como os indivíduos percebem, interpretam e convivem com os artefatos. Visa compreender desejos, necessidades e experiências pessoais, a fim de solucionar problemas, promover interesses e implementar inovações relevantes (NBR ISO 9241-210, 2011; Giacomini, 2012).

2.3 Cocriação, open design e autofabricação

O processo de design deve ser igualmente criativo e solucionador de problemas, pois o designer desempenha o papel de produtor de ideias, por meio da coleta de informações e utilizando-as a fim de resolver os problemas que lhe são apresentados (Lobach, 2001).

Prahalad e Ramaswamy (2004) destacam a importância da cocriação, sendo a criação conjunta resultado do diálogo aproximado dos idealizadores com os consumidores, adotando-se uma postura ativa pelos usuários como indivíduos engajados no processo.

Nesse sentido o modelo de criação colaborativa e aberta mostra-se como uma alternativa projetual a ser seguida uma vez que se baseia no exercício criativo que promove a circulação e o intercâmbio de conhecimentos entre profissionais em uma comunidade aberta, transpondo barreiras desnecessárias entre o design e os usuários (Atkinson, 2006).

Tal abordagem, promove também o modelo Open Source no design que surge da incorporação de práticas adotadas por desenvolvedores de software na década de 80 (Troxler, 2011) e da tendência do DIY (Do It Yourself – Faça Você Mesmo, da tradução) com a abertura de código e licenças. No modelo de distribuição livre, os usuários possuem acesso total aos arquivos de projeto para fabricação sob medida e demanda (Open Desk, 2025), promovendo a democratização ao conceder liberdade ao usuário de fazer modificações no projeto original e construir por conta própria suas peças (Atkinson, 2006).

2.4 Prototipagem, testes de usabilidade e questionários

Segundo Soares (2007), a ergonomia deve ser utilizada desde os estágios iniciais do processo de desenvolvimento de um produto, visando a realização de um processo de design centrado no ser humano. Para o autor, a modelagem é definida como a etapa do processo de design responsável pelo desenvolvimento de ideias promissoras, com o objetivo de representá-las de forma realista atendendo as suas especificações e metas estabelecidas inicialmente (Soares, 2022).

A realização de testes de usabilidade com voluntários configura-se como uma etapa fundamental, uma vez que protótipos físicos são tangíveis e podem ser desenvolvidos utilizando-se materiais similares ao do objeto final (Pereira et al., 2015). Dessa forma, obtêm-se indicadores para a correção de falhas no protótipo com a aplicação de melhorias para aprimorar a experiência do usuário com o objeto.

De acordo com a norma NBR ISO 9241-11 a usabilidade é a “(...) medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos como eficácia, eficiência e satisfação” (ABNT, 2021), dependendo do contexto de uso e das circunstâncias específicas nas quais o produto é utilizado.

Ademais, recomenda-se a utilização de técnicas de diferentes naturezas para a complementação dos dados e análise detalhada (Rogers;

Sharp; Preece, 2013). Dentre as ferramentas, Gil (2019) ressalta a aplicação de questionários para coleta de dados e informações, possibilitando um número maior de pessoas e garantindo um julgamento independente. A aplicação do questionário SUS (System Usability Scale) permite aferir a eficiência, efetividade e satisfação dos usuários com a tarefa realizada (Sauro, 2011).

3. Metodologia

A pesquisa de caráter exploratório de abordagem mista ocorreu na Região Metropolitana da Grande Vitória (Brasil), entre janeiro e julho de 2025, adotando os passos metodológicos do Quadro 1.

Quadro 1 Detalhamento das fases, instrumentos e objetivos

Fases	Instrumentos	Objetivos
Adaptações projetuais	Vote visualmente Ajustes e integração das soluções em modelo digital Planificação do modelo físico	Selecionar e incorporar soluções de acordo com a preferência dos votantes
Desenvolvimento dos formulários e materiais para monitoramento	Kits de teste Formulário pré-teste e pós-teste Diário de operações Questionário SUS	Testar, monitorar e avaliar a usabilidade e adequabilidade da composteira
Acompanhamento e monitoramento	Grupo em aplicativo de mensagens Registro fotográfico e de impressões	Tirar dúvidas dos voluntários e acompanhar os registros

Fonte: autores.

3.1 Adaptações projetuais em protótipo digital

Os refinamentos projetuais no protótipo digital foram feitos a partir da realização de oficina com 116 professores e estudantes do Ifes, recrutados de forma espontânea, para eleger o projeto mais viável dentre as alternativas de composteiras geradas por meio da dinâmica de votação Vote Visualmente (Osterwalder et. al, 2011) (Figura 3).

Soares (2022) ressalta o papel da modelagem no processo do design com a construção de modelos representativos e realistas dos conceitos mais promissores, sendo fundamental para validar a conformidade das propostas alternativas. Técnicas de prototipagem digital vêm sendo aplicadas nas áreas de engenharia e fabricação, permitindo o estudo de um produto e exploração de maneira completa antes de sua fabricação (Soyguder; Alli, 2007; Wang, 2011). Dessa forma, o modelo Caixotes Empilháveis recebeu adaptações projetuais integradas digitalmente através da modelagem 3D (Figura 3), tomando como base os apontamentos dos voluntários, e partindo de um conjunto de princípios funcionais e de estilo propostos por Baxter (2011). Diferentes configurações de projeto foram consideradas para melhoria, tais como furos e aberturas diagonais nas laterais para ventilação e fundo da caixa de compostagem, tipos de puxadores para gaveta e sistemas integrados para o módulo topo.

Figura 3: Protótipo digital adaptado



Fonte: autores

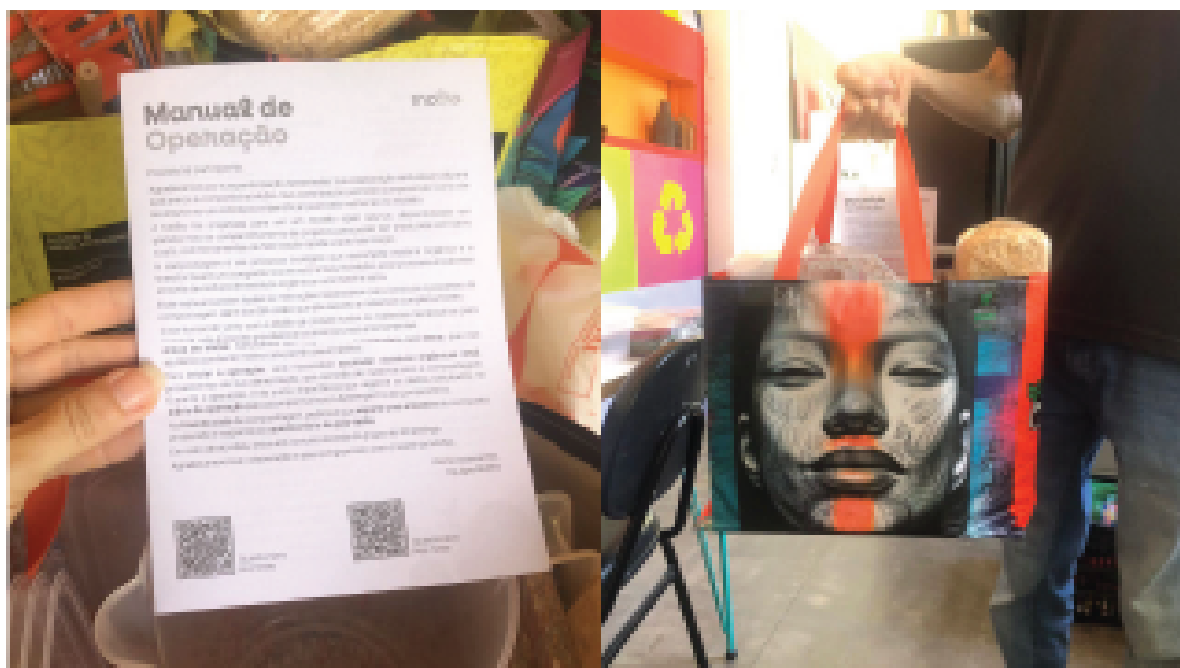
Em etapa posterior, o modelo passou pela planificação em Software 2D, considerando dimensões e características de materiais; os arquivos gerados foram traduzidos para arquivos CAM (do inglês, Computer-Aided Manufacturing) (Deans, 2021) usados para corte em fresadora CNC (Lefteri, 2013) utilizando material de origem reciclada.

3.2 Desenvolvimento dos formulários e materiais para monitoramento

Para a realização dos testes com o modelo Caixotes Empilháveis adaptado e melhorado foram organizados kits contendo: a composteira feita com placas ecológicas, kit de ferramentas para jardinagem, medidor, borrifador, pacote de serragem, embalagens com frações de terra e adubo, e manual operacional para orientação dos processos (Figura 4). Para acesso aos formulários e diário de operação foram anexados QR Codes nos manuais de operação e nas composteiras.

Devido aos custos operacionais e logísticos de fabricação e distribuição dos kits, há limitação amostral com a montagem e distribuição de apenas seis kits para voluntários selecionados a partir da lista de participantes anteriores das oficinas de cocriação conduzidas por Araújo et. al (2025); convites em disciplinas; e redes de contato dos pesquisadores. Os critérios de inclusão/exclusão levaram em consideração o enquadramento nos perfis pré-estabelecidos, na tipologia de moradia onde residiam, dando preferência a apartamentos ou área onde a composteira pudesse estar em locais mais próximos do dia a dia dos moradores; na disponibilidade e interesse; e local de residência.

Figura 4: manual de operação com os componentes; organização final do kit (da esquerda para a direita)



Fonte Autores

Para o monitoramento do desempenho e interação com o objeto, os voluntários foram divididos em perfis que variavam de acordo com o nível de conhecimento sobre compostagem, sendo: (i) Curioso, indivíduos que não tiveram experiência da compostagem, mas demonstram interesse em praticar; (ii) Conhecedor, que tentaram praticar compostagem, mas que interromperam o processo; (iii) Praticante, indivíduos que praticam continuamente a compostagem; e (iv) Sem conhecimento.

Os formulários foram desenvolvidos, seguindo as etapas descritas por Gil (2019): (a) formulário pré-teste, para coletar informações sobre hábitos, rotinas, experiências anteriores, além do termo de consentimento livre e esclarecido; e (b) formulário pós-teste, perguntas objetivas para coletar opiniões a partir do uso do modelo.

Além disso, um diário de operações foi elaborado, visando registro e acompanhamento das atividades ao decorrer de 45 dias, prazo estipulado de acordo com a média de maturação do composto; e, a fim de aferir a usabilidade e aceitabilidade do produto após aplicação dos testes, recorreu-se ao questionário SUS, composto por dez afirmações pontuadas numa escala de Likert (Quadro 2).

Quadro 2: Questionário de Usabilidade e Aceitabilidade

Afirmativas	Discordo totalmente 1	2	3	4	Concordo totalmente 5
As características da Mobio são INTUITIVAS e facilitam eu perceber como devo usá-la e manipulá-la	☐	☐	☐	☐	☐
As características da Mobio DIFICULTAM que eu realize as tarefas	☐	☐	☐	☐	☐
A Mobio transmite sensação de fácil limpeza e conforto no seu uso	☐	☐	☐	☐	☐
Eu NÃO me senti confiante e seguro(a) utilizando a Mobio para realizar as tarefas	☐	☐	☐	☐	☐
A Mobio possui características visuais agradáveis	☐	☐	☐	☐	☐
Em sua configuração formal, a Mobio NÃO transmite um apelo sustentável	☐	☐	☐	☐	☐
As características da Mobio remetem a um equipamento acessível e qualquer pessoa poderia utilizá-lo	☐	☐	☐	☐	☐
Eu NÃO gostaria de usar esse equipamento frequentemente	☐	☐	☐	☐	☐
Eu gostaria de fabricar a Mobio para meu uso pessoal	☐	☐	☐	☐	☐
As características da Mobio NÃO remetem a um objeto de auto-fabricação	☐	☐	☐	☐	☐

Fonte: autores

3.3 Acompanhamento e monitoramento

Um grupo em aplicativo de mensagens foi criado para monitorar o desempenho e identificar eventuais falhas no projeto. Esse canal foi utilizado para o envio de relatos semanais das atividades realizadas pelos voluntários, além de funcionar como um meio direto para esclarecimento de dúvidas surgidas ao longo do uso e não previstas no manual operacional.

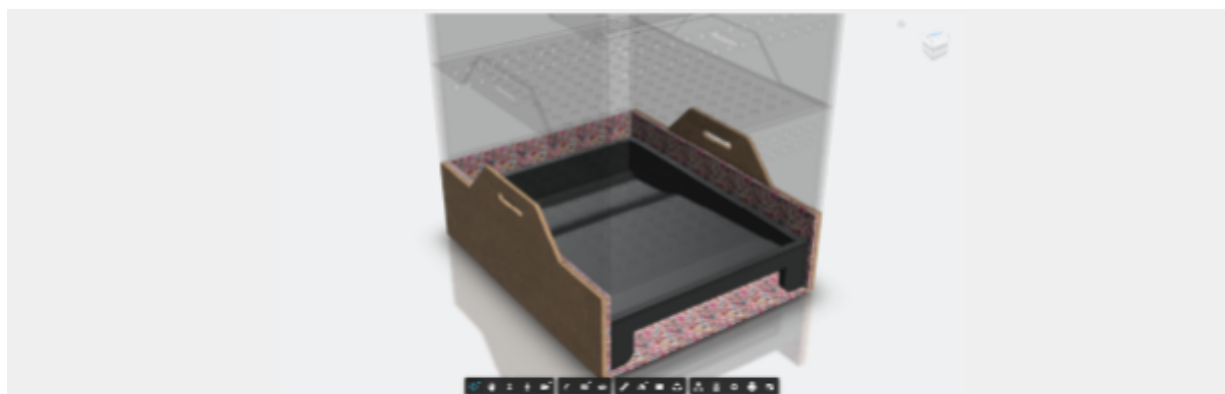
4. Resultados

Esta seção reúne os resultados, contemplando ajustes projetuais, avaliação de materiais, análise dos instrumentos de acompanhamento e o aprimoramento do modelo final.

4.1 Adaptações projetuais

Com base nos resultados obtidos na oficina Vote visualmente iniciou-se a etapa de integração das soluções. Pode-se observar – sobretudo entre os Conhecedores e os Praticantes – apontamentos direcionados ao módulo coletor de chorume, voltados à simplificação do sistema com alternativas comumente utilizadas em composteiras tradicionais. A adaptação de uma torneira, como sugerido, enquadrou-se como alternativa ao sistema de escoamento inicialmente projetado, evidenciando a predominância de modelos mentais pré-existentes sobre a forma esperada de funcionamento de um objeto (Norman, 2006). No entanto, a proposta da adição de uma torneira também recebeu comentários negativos, baseado em experiências anteriores, entre elas: o entupimento por partículas, produção de cheiro, presença de vetores e a dificuldade de esvaziar o reservatório por completo. Como forma de prevenir possíveis falhas e propor uma solução utilizando-se de um objeto de fácil acesso e do conhecimento de todos, o modelo Caixotes Empilháveis foi reformulado para comportar uma bandeja de mistura de tinta como coletor de chorume, sendo sua estrutura reformulada para comportar o objeto (Figura 5).

Figura 5: Adaptação módulo coletor de chorume



Fonte: autores.

4.2 Materiais avaliados

Para a divisão dos usuários mantiveram-se os perfis com a exclusão do “Sem conhecimento”, visto que suas conclusões não resultaram em devolutivas de grande relevância pela ausência de parâmetros para avaliar o uso de uma composteira. Dessa forma, foram selecionados dois voluntários para cada perfil remanescente, totalizando seis voluntários, sendo três deles participantes das oficinas de cocriação conduzidas por Araújo et al. (2024).

O desenvolvimento do manual de operação resultou em um guia estruturado em: (i) carta de apresentação com contextualização e descrição das etapas do teste; (ii) QR codes direcionando para os questionários e grupo de suporte; (iii) lista dos itens do kit e descrição do que pode ser resíduo orgânico e matéria seca; (iv) instruções de pré-operação, ativação, manutenção semanal, preenchimento do diário de operações, identificação do composto e tarefas posteriores ao fim do ciclo de compostagem; e (v) lista de possíveis dúvidas.

Para elaboração dos formulários, as etapas descritas por Gil (2019) foram seguidas, iniciando com a especificação dos objetivos dos questionários. Para o formulário prévio para conhecer os usuários que participaram da avaliação e as condições que a composteira seria submetida; para o formulário pós-teste, os objetivos para coletar o resultado da análise dos voluntários a partir do seu uso, focado na eficiência, eficácia e satisfação durante o período de teste e possibilidade de melhorias, além de conclusões a respeito das funções práticas, estéticas, simbólicas do objeto (Löbach, 2001). Terminologias técnicas passaram por adaptações e traduções para serem interpretados e compreendidos por todos os participantes. A avaliação do Affordance do objeto, por exemplo, foi suprimida e optou-se por perguntas voltadas a avaliar o objeto quanto às suas características indicam aos usuários sobre como interagir e usá-lo corretamente (Norman, 2006).

Após a estruturação, os questionários passaram pelo pré-teste (Gil, 2019) voltado a revisão ortográfica e avaliação de questões quanto a sua relevância para os objetivos do questionário. Como resultado, o formulário prévio contou com dezessete questões divididas em optativas e discursivas, de natureza censitária (Gil, 2019) e o pós-teste com dezenove questões de múltipla escolha, com áreas para justificativa e apontamentos adicionais, a

fim de conceder aos voluntários espaço para manifestar constatações e queixas.

O desenvolvimento do questionário SUS de Usabilidade e Aceitabilidade resultou em um questionário online contendo dez assertivas, sendo cinco positivas e cinco negativas, e seus conteúdos relacionam-se ao *affordance*, à forma, às funcionalidades e ao potencial de autofabricação do objeto. Um link para acesso ao material foi liberado aos voluntários após o fim do período de operação e preenchimento do questionário pós-teste. Buscou-se com o desenvolvimento dos formulários extrair constatações dos usuários após o período de testes e, a partir da análise das respostas, incorporar melhorias no projeto.

4.3 Análise dos diários de operação e formulários pós-teste

Após a finalização do período de operação, os materiais foram avaliados levando em consideração os diários semanais, os formulários e o questionário de Usabilidade e Aceitabilidade. Ambos os questionários foram submetidos à Análise de Conteúdo (Bardin, 2016) para a interpretação das respostas e comparadas com os relatos semanais individuais do uso da composteira.

As respostas ao questionário pré-teste apontaram diversidade entre os voluntários, considerando perfil sócio econômico, hábitos de consumo e rotinas, permitindo avaliar a usabilidade da composteira sob diferentes contextos e circunstâncias, expandindo as devolutivas dos usuários. As respostas ao questionário pós-teste indicaram experiências satisfatórias, onde os seis voluntários declararam terem conseguido operar a composteira sem dificuldade, mas as devolutivas também identificaram pontos para melhoria. Ademais destaca-se a contribuição das áreas para justificativa e apontamentos adicionais, uma vez que com a leitura e confrontação com as alternativas selecionadas permitiram extrair conclusões sobre as modificações necessárias no projeto.

Quanto à **configuração do projeto**, dois voluntários relataram dificuldade **na abertura da porta** para acesso à bandeja coletora de chorume, resultado da espessura do material utilizado para fabricação (10mm). A escolha do material mais espesso e, conseqüentemente, mais pesado, deve-se ao fato da construção do objeto tornar-se mais prática quando comparada com montagens anteriores realizadas com placas de

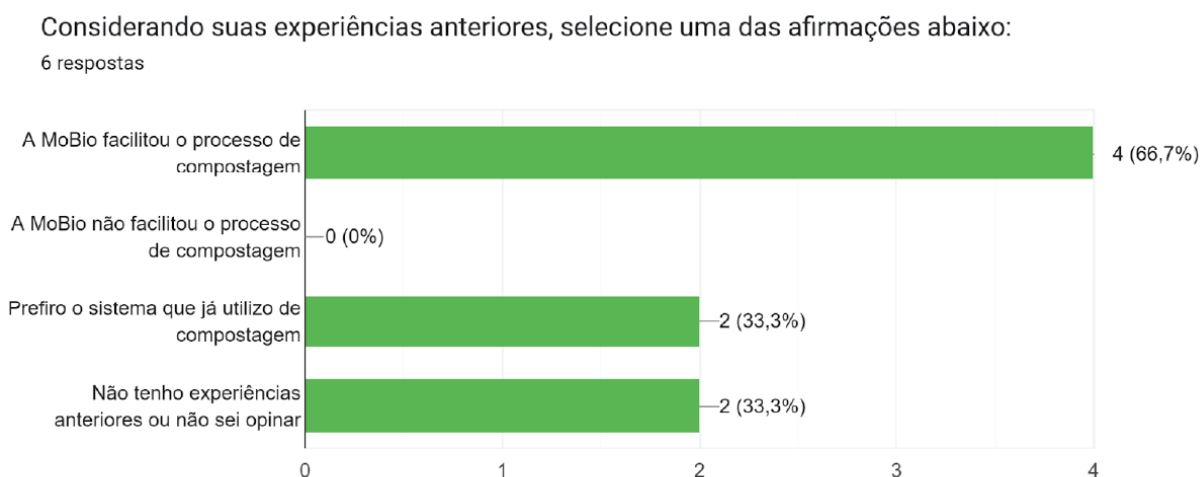
espessuras menores, que apresentaram imprecisões na fixação dos pregos, desperdício e falhas construtivas.

Outro apontamento feito por dois voluntários foi sobre a **disposição ou relevância do módulo topo**, cujo propósito inicial era servir de suporte para a mistura da matéria e depósito dos materiais e ferramentas. Nota-se também advertências com relação ao peso global do objeto, considerando a reconfiguração do modelo com material alternativo às placas utilizadas, redução do volume das caixas e substituição de partes sobressalentes.

Apesar dos apontamentos, os voluntários restringiram suas considerações a respeito do processo de compostagem, tais como a **presença de insetos ou sujeira** durante o processo e não do objeto a ser avaliado em si.

Quanto à **operação**, cinco dos seis voluntários demonstraram não ter dificuldade no manejo da composteira. Dois dos seis voluntários recorreram ao suporte com dúvidas voltadas ao processo de compostagem em si e não à composteira. Todos os seis voluntários concluíram que a operação pôde ser executada de maneira rápida e intuitiva. No que tange ao processo executado já com outras composteiras, a opinião majoritária foi a de que o projeto facilitou o processo de compostagem, sendo os outros votos direcionados a preferências por sistemas já utilizados ou não tiveram experiência prévia com outras composteiras (Figura 6).

Figura 6: Questionário de Usabilidade e Aceitabilidade



Fonte: autores.

Ao serem questionados sobre o processo de fabricação da composteira, três participantes não consideraram-o como um objeto com características de autofabricação. Cinco dos seis voluntários considera factível a ideia de construir uma composteira por conta própria, seja com auxílio ou não dos pesquisadores que conduziram os testes, prevendo dificuldades durante o processo além de indicar a demanda pela construção de manuais de montagem a serem vinculados e distribuídos junto com o projeto final da composteira

A partir da análise constatou-se que as respostas do questionário dos seis participantes validaram o conceito geral do modelo ao mesmo tempo que apontaram falhas de usabilidade, importantes para o direcionamento de modificações especificamente do módulo topo e no módulo base para as adaptações do projeto final da composteira.

4.4 Aperfeiçoamento do modelo final e distribuição

Após identificação dos pontos a serem aperfeiçoados baseando-se nas respostas dos questionários pós-teste e de aceitabilidade, as modificações a serem feitas foram determinadas. O primeiro aspecto a ser melhorado concentrou-se no **módulo coletor de chorume**, visto a predominância de comentários a respeito do mau funcionamento da porta de abertura giratória, sendo descontinuada no projeto, mantendo-se apenas uma abertura para acesso (Figura 7). Apesar disso, destaca-se que o objeto a compostagem gerou chorume em apenas uma das composteiras enviadas aos voluntários. Ou seja, apesar do mau funcionamento da porta, a mesma foi de pouca importância para o contexto geral do teste.

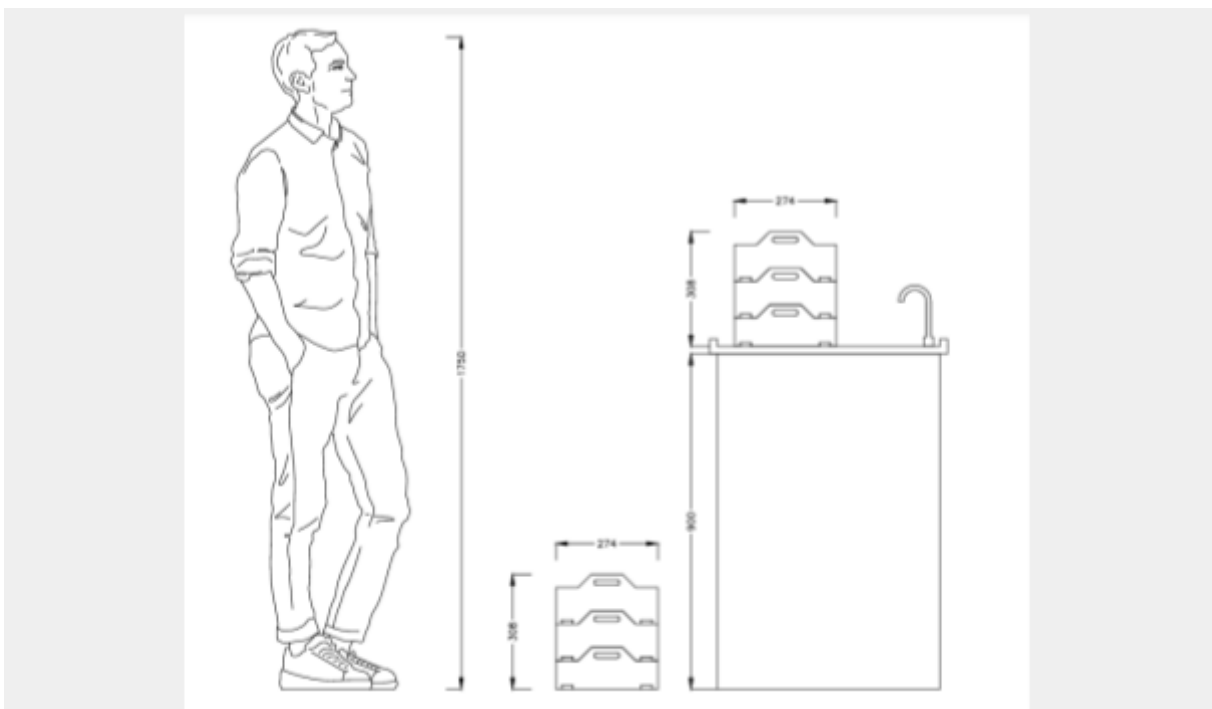
Analisando o objeto e a funcionalidade da porta, percebeu-se que somente a presença da bandeja coletora de chorume posicionada de forma ajustada ao módulo coletor de chorume já era suficiente para vedar a entrada de vetores e proteger o líquido de contaminação. A entrada viria a facilitar a retirada da bandeja e o manejo do chorume, no entanto verificou-se que o processo pode ser executado feito com a retirada do módulo superior, evitando eventuais falhas na construção caso a parte permanecesse no projeto. Destaca-se ainda que as dimensões finais do objeto foram reajustadas de acordo com o tamanho que a bandeja comporta conforme a figura 8.

Figura 7: Modelo final de composteira



Fonte: autores

Figura 8: Dimensões da composteira tendo referência um adulto; unidades em mm



Fonte: autores.

O **módulo topo** projetado para o revolvimento do composto no início do processo de compostagem e para o apoio de utensílios auxiliares, teve sua tampa eliminada por não ser considerada essencial pelos participantes

do teste, além de representar uma otimização do material para produção do objeto com sua retirada. Ressalta-se que ambas as estratégias adotadas (remoção da porta do módulo coletor de chorume e supressão da tampa do módulo topo) adotadas reduzem a quantidade de material utilizado na composteira e, conseqüentemente, o peso global do objeto.

Além das modificações baseadas nos apontamentos dos voluntários, durante a produção dos modelos foi verificada a possibilidade de economia de tempo na execução do projeto pela substituição da ferramenta de corte e alteração do projeto. Nos desenhos iniciais dessa versão da composteira, o sistema de ventilação lateral e interno era feito por meio de furos, demandando longo tempo e uma fresa específica. Portanto, visando a otimização do processo e utilização de uma única ferramenta, substituiu-se os furos por cortes adjacentes no ângulo de 45°, tornando – segundo Munari (2008) – o projeto mais acessível e simplificado. Dessa maneira, o projeto de composteira passa pela simplificação em detrimento da sua democratização como proposto pelo design aberto (Quadro 3).

Quadro 3: Síntese dos problemas identificados e da solução adotada

Problema identificado	Evidência	Solução implementada
Abertura do módulo coletor de chorume	Relato de dois voluntários no questionário pós-teste	Adaptação e supressão da porta de abertura do módulo
Relevância do módulo topo	Relato de dois voluntários no questionário pós-teste	Remodelação do uso e supressão de peças
Presença de insetos e sujeira	Relato dos voluntários no diário de operações	Solução não incorporada
Peso global do conjunto	Relato dos voluntários no diário de operações	Remoção de peças desnecessárias e redução da espessura do material com redução de 30% do peso global do conjunto
Alteração no desenho do sistema de ventilação de furos para rasgos	Monitoramento do tempo e custos de produção das peças	Alteração do desenho de furos para rasgos a 45° nas laterais e fundo das gavetas

Fonte: autores

Por fim, os arquivos finais foram reformulados de acordo com as adaptações pontuadas e documentados no site GitHub¹ e ProDesign Ufes², em conjunto com manuais de instrução de execução e montagem. Todo material foi registrado sobre a licença da Creative Commons CC-BY-NC 4.0 (Creative Commons, 2019), promovendo o acesso livre a qualquer pessoa interessada nesse design (Neves, 2014).

5. Conclusões

Este trabalho ressalta a importância da inserção de avaliações com usuários no processo de produção de modelos tangíveis, uma vez que seus apontamentos e ressalvas foram importantes para o bom funcionamento do projeto. Além disso, apontou para a exclusão ou supressão de peças com mau funcionamento ou sem propósito identificado pelos usuários que pareciam relevantes no contexto global antes dos testes. Aponta ainda que a composteira modular doméstica como foi projetada pode ser um objeto funcional e de apelo estético e simbólico, habitando áreas mais nobres das moradias e trazendo a responsabilidade da gestão dos resíduos orgânicos para o dia a dia do convívio familiar.

Apesar do material aplicado ser de grande apelo ecológico e estanque, seu peso se mostrou um problema uma vez que tornaram o conjunto pesado, sobretudo após o carregamento das caixas com resíduos. Por fim, o uso de tecnologias de fabricação digital visando a autofabricação ainda são muito distantes da maior parte dos usuários.

Quanto às contribuições para o campo, a aplicação da abordagem do Design Centrado no Ser Humano revelou-se eficaz para identificar necessidades reais, reunir diferentes perspectivas e considerações fundamentais para garantir o bom funcionamento do objeto também no contexto de artefatos para a promoção do saneamento ambiental. Assim como as ferramentas e instrumentos que operacionalizaram tal abordagem e buscaram tornar mais objetivas as escolhas com base nas opiniões dos voluntários.

Quanto às limitações, pontua-se o número reduzido de voluntários, o que reduz a recepção de feedbacks mais adequados. Há ainda problemas identificados e não resolvidos vinculados à geração de sujeira do processo de revolvimento e ao processo natural de biodecomposição que atrai

¹ <https://github.com/mobiosustentavel>

² <https://prodesign.ufes.br/>

insetos. E o prazo curto para disponibilização da degradação do composto que foram de ciclos interativos de 45 dias e sendo cerca de 60 a 120 dias o ideal realizado (Instituto Polis, 2025).

Dessa forma, faz-se necessária aplicação de novas rodadas de avaliação como etapas posteriores desta pesquisa, considerando um número maior de amostras, concentrados na busca de materiais alternativos e menos densos para construção, além da proposição de alternativas construtivas desconsiderando o sistema de junção com pregos, visando a diminuição do peso final do conjunto. As adaptações visam garantir uma aceitabilidade ainda maior, resultando em um modelo eficaz e eficiente para o uso cotidiano.

Agradecimentos

Ao apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo, por meio do Edital Universal nº 28/2022; aos especialistas que contribuíram para a busca por novas soluções construtivas da MoBio; e a todos os pesquisadores que já passaram por este projeto.

Referências

ABNT. **ABNT NBR ISO 13591**: Compostagem. Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

_____. **NBR ISO 9241-11**. Ergonomia da interação humano-sistema Parte 11: Usabilidade: Definições e conceitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. **NBR ISO 9241-210**. Ergonomia da interação humano-sistema Parte 210: Projeto centrado no ser humano para sistemas interativos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ARAÚJO, Arthur de Carvalho; PEREIRA, Alhandra Zottele; MILLER, Katia Broeto; BRINGHENTI, Jacqueline Rogéria. **Oficina de cocriação como ferramenta projetual: aperfeiçoamento de composteira modular**, 2024. In: 15º Congresso Brasileiro Pesquisa e Desenvolvimento em Design, Manaus, 2024. Anais do P&D 2024: Rio de Janeiro, 2024.

ATKINSON, Paul. **Do It Yourself: Democracy and Design**. Journal of Design History. Vol 19 n.1. UK:Oxford, 2006

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Tradução: Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2016.

BAXTER, Mike. **Projeto de Produto: guia prático para o design de novos produtos**. São Paulo: Editora Blucher, 2011.

BRINGHENTI, J. R.; MILLER, K. B.; COMETTI, R. R.; NUNES, F. B. S.; SACRAMENTO, B. T.; NASCIMENTO, W. M. **Aparato Modular para Compostagem Doméstica**. Depositante: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo e Universidade Federal do Espírito Santo. BR 20 2021 008633 0 U2. Depósito: 04 mai. 2021. Disponível em: <https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action=detail&CodPedido=1610878&SearchParameter=20%202021%20008633%200%20%20%20%20%20&Resumo=&Titulo=>. Acesso em: 30 nov. 2024.

COMETTI, Rafaela. **Desenvolvimento e Avaliação de Protótipo de Composteira para Uso em Ambientes Domiciliares**. 168 f. Dissertação (Mestrado profissional em Tecnologias Sustentáveis) – Programa de Pós-graduação em Tecnologias Sustentáveis, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2021.

CREATIVE COMMONS. **Creative Commons — Attribution-NonCommercial 4.0 International — CC BY-NC 4.0**. Disponível em: <<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>>. Acesso em: 24 out 2025

DEANS, Marti. **What is CAM? Computer Aided Manufacturing Basics**. Autodesk, 2021 Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/computer-aided-manufacturing-cam-beginners/>. Acesso em: 08 ago 2025

GIACOMIN, Joseph. **What is human centered design?** In: P&D De-sign 2012. 10º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, São Luís (MA), 2014.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2019

INSTITUTO FABER-LUDENS. **Design Livre**. São Paulo: Clube dos Autores, 2012. IPEA. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos. Brasília: IPEA, 2012.

IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Brasília: IPEA, 2012.

INSTITUTO PÓLIS. **Descomplicando a reciclagem de resíduos orgânicos**. 2025. São Paulo Disponível em: <https://brasilcompostacultiva.org.br/download-descomplicando-a-reciclagem/> Acesso em: 2 de fev 2026

KERAMITSOGLU, Kiriaki; TSAGARAKIS, Konstantinos. **Public Participation in Designing the Recycling Bins to Encourage Recycling**. In: Sustainability, Greece, v. 10, n. 4, p. 1240, 2018.

LEFTERI, Chris. **Como se faz**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2013.

LÖBACH, Bernd. **Design Industrial: Bases para a configuração dos produtos industriais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

MILLER, Katia Broeto; BRINGHENTI, Jacqueline Rogéria; PINTO, Ana Luiza Kruger Velten Rodrigues; ALVES, Thais Santos. **Revisão Sistemática da Literatura de Técnicas de Avaliação de Usabilidade aplicadas a produtos tangíveis**. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 14., 26 a 29 de out. 2022, Rio de Janeiro. Anais... São Paulo: Blucher, 2022. p. 2689-2707.

MILLER, Katia Broeto; BARRETO, Ana Carolina; BRINGHENTI, Jacqueline Rogéria; SOUSA, Emily Victória Silva; SACRAMENTO, Beatriz Torezani. **Metodologia para ponderação e hierarquização de problemas identificados em avaliações de usabilidade para composteiras**. In: ENSUS 2024 – XII Encontro de Sustentabilidade em Projeto, 2024.

MUNARI, Bruno. **Das coisas nascem coisas**. São Paulo: Ed. Martins Fontes, 2008.

NEVES, Heloisa Maria Domingues. **Maker innovation. Do open design e fab labs... às estratégias inspiradas no movimento maker**. 2014.

NORMAN, Donald A. **O design do dia-a-dia**. Rio de Janeiro: Rocco, 2006.

OPEN DESK. **Why opendesk**. 2025 Disponível em: <<http://www.opendesk.com/why-choose-opendesk>>. Acesso em: 16 abr 2026

OSTERWALDER, Alex; PIGNEUR, Yves; BERNARDA, Greg; SMITH, Alan. **Value Proposition Design: Como construir propostas de valor inovadoras**. São Paulo: HSM do Brasil, 2014.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Guia para a Compostagem**. Brasília: WWF-Brasil, 2015. Disponível em: <<https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/compostagem.pdf>>. Acessado em: 23 abr. 2026.

PRAHALAD, C. K.; RAMASWAMY, Venkat. **Co-creation experiences: The next practice in value creation**. Journal of Interactive Marketing, v. 18, n. 3, p. 5–14, 2004.

PEREIRA, Alhandra Zottele; ARAÚJO, Arthur de Carvalho; MILLER, Katia Broeto. **Vote Visualmente: Ferramenta de cocriação para o aperfeiçoamento de composteira modular**. In: X Simpósio de Design Sustentável. 2025.

PEREIRA, Lucas Melchiori; Saffaro, Fernanda Aranha; Hirota, Ercilia; Saito, Celso. **Estudo exploratório comparativo da eficácia entre protótipos físico, analítico 2d e 3d na identificação de inconsistências de projetos**. Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 10, n. 1, p. 28, 2015.

ROCHA, Érica Sabrina da; WIECZOREK, Anieli; GILLI, Pedro Henrique de Sá; BARROS, Renata Godoy. **Desafios e perspectivas da compostagem em apartamentos pequenos**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Curso

Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental)- Faculdade de Tecnologia
Deputado Ary Fossen, Jundiaí, 2022

ROGERS, Yvonne; SHARP, Helen; PREECE, Jennifer. **Design de Interação:
Além da Interação Humano-Computador**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

SACRAMENTO, Beatriz Torezani; MILLER, Katia Broeto; BRINGHENTI,
Jacqueline Rogéria. **Avaliação de usabilidade de protótipo de composteira
modular com potenciais usuários**. In: ERGODESIGN & USIHC, 19., 13 a 16
de jun. 2023, Maranhão. Anais... São Paulo: Blucher, 2023.

SAURO, Jeff. **Measuring Usability With The System Usability Scale (SUS)**.
2011. Disponível em: <<https://measuringu.com/sus>>. Acesso em: 02 jun.
2025

SHUAI, Yuan. **Personal Apartment Composting Bin**. Diploma work, 2022.

SOYGUDER, S., ALLI, H., **Design and prototype of a six-legged walking
insect robot, Industrial Robot: An International Journal**, v. 34, n.5,
p.412-422, 2007.

SOARES, Marcelo; SILVA, Germannya D’Garcia de Araújo; RAMOS, Débora;
CABRAL, Glenda; CRUZ, Juliana Leal. **Os primeiros passos de um
programa de ergonomia na empresa: duas experiências distintas**.
Revista Gestão Industrial, v. 3, n. 3, 2007.

SOARES, Marcelo. Metodologia de ergodesign para o design de produtos:
uma abordagem centrada no humano. São Paulo: Editora Blucher, 2022.

TROXLER, Peter; ATKISON, Paul; HUMMELS, Caroline. **Open Design Now:
Why Design Cannot Remain Exclusive**. Amsterdam: BIS publishers, 2011.

Wang, Z. **Interactive virtual prototyping of a mechanical system
considering the environment effect**. Part 1: Modeling dynamics, Comptes
Rendus Mécanique, 339, 9, 591-604, 2011.

Recebido: 29/01/2026
Aceito: 05/05/2026
Publicado: 13/07/2026

Editoras-Chefe:

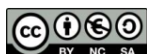
 Barbara Necyk

 Carolina Noury

© Copyrights: Arthur
Carvalho de Araújo;
Katia Broeto Miller;
Jacqueline Rogéria
Bringhenti

A revista Arcos Design
está licenciada sob uma
licença Creative
Commons Atribuição –
Não Comercial –
Compartilha Igual 4.0.

Não Adaptada.



Participação da autoria:

Arthur Carvalho de Araújo: análise formal, conceituação, curadoria de dados, investigação, metodologia, design da apresentação de dados e redação – manuscrito original

Katia Broeto Miller: análise formal, curadoria de dados, obtenção de financiamento, metodologia, administração do projeto, supervisão, redação – revisão e edição

Jacqueline Bringhenti Rogéria: análise formal, curadoria de dados, redação – revisão e edição

Fonte de Financiamento:

Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES)

Conflito de Interesse:

Declaramos não haver conflitos de interesse.