

INOVAÇÃO FRUGAL: ESTUDOS DE CASO SOBRE A CRIAÇÃO DE VENTILADORES MECÂNICOS PARA A PANDEMIA DA COVID-19¹

Bruna Hernandes Scarabelli²

Hilka Pelizza Vier Machado³

Rejane Sartori⁴

<http://dx.doi.org/10.1590/1413-2311.336.106658>

RESUMO

A Síndrome Respiratória Aguda Grave do Coronavírus 2 (SARS-CoV-2), causadora da Coronavírus 2019 (Covid-19), se alastrou, tornando-se em pouco tempo uma pandemia. A doença provocou a escassez de ventiladores mecânicos no mercado brasileiro e mundial. Esta pesquisa teve como objetivo compreender o desenvolvimento de ventiladores mecânicos destinados ao atendimento de pacientes acometidos pela Covid-19, focando em dificuldades e na configuração da inovação. Para tanto, realizou-se uma pesquisa exploratória, com abordagem qualitativa, um estudo de casos múltiplos. A coleta de dados ocorreu por meio de entrevistas semiestruturadas com os agentes inovadores. Os dados foram analisados por meio de análise de conteúdo. Os resultados demonstram que os equipamentos desenvolvidos constituem inovação frugal, uma vez que apresentam pelo menos quatro características desse tipo de inovação: acessibilidade e baixo custo; atendimento a determinada necessidade; uso de peças alternativas; e inovação. Os participantes apresentaram comportamento resiliente para vencer as dificuldades associadas ao custo de homologação; tempo, criatividade e distanciamento social; necessidades de conhecimento específico; e necessidade de trabalhar com margem de custo reduzida. A pesquisa apresenta uma contribuição para a compreensão do desenvolvimento da inovação frugal em contexto contingência, como foi o caso da pandemia, focando em indivíduos criadores e no processo de criação.

¹ Recebido em 19/8/2020, aceito em 20/7/2021.

² Universidade Cesumar; Maringá – PR (Brasil); <https://orcid.org/0000-0001-7285-2876>; scarabellibruna@gmail.com.

³ Universidade Cesumar (UniCesumar) - Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação e Universidade do Oeste de Santa Catarina; Maringá – PR (Brasil); <https://orcid.org/0000-0002-2554-0025>; hilkavier@yahoo.com.

⁴ Universidade Cesumar (UniCesumar) - Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação e Universidade Estadual de Maringá; Maringá – PR (Brasil); <https://orcid.org/0000-0001-9116-5860>; rejane.sartori@unicesumar.edu.br.

Palavras-chave: Coronavírus. Inovação frugal. Ventilador mecânico. Inovação.

FRUGAL INNOVATION: CASE STUDIES ON THE CREATION OF MECHANICAL FANS FOR THE COVID-19 PANDEMIC

Severe Acute Respiratory Syndrome of Coronavirus 2 (SARS-CoV-2), which causes Covid-19, has spread, quickly becoming a pandemic. The disease caused a shortage of mechanical fans in the Brazilian and worldwide markets. This research aimed to understand the development of mechanical ventilators for the care of patients affected by Covid-19, focusing on difficulties and the configuration of innovation. An exploratory research was carried out, with a qualitative approach, a multiple case study. Data collection took place through semi-structured interviews with innovative agents. Data were analyzed through content analysis. The results demonstrate that the equipment developed is a frugal innovation, since it has at least four characteristics of this type of innovation: accessibility and low cost; meeting a certain need; use of alternative parts; and innovation. Participants showed a resilient behavior to overcome the difficulties associated with the approval cost; time, creativity and social distance; specific knowledge needs; and the need to work with a reduced cost margin. The research presents a contribution to the understanding of the development of frugal innovation in a contingency context, as was the case of the pandemic, focusing on creative individuals and on the creation process.

Keywords: Coronavirus. Frugal innovation. Mechanical ventilator. Innovation.

INNOVACIÓN FRUGAL: ESTUDIOS DE CASO SOBRE LA CREACIÓN DE VENTILADORES MECÁNICOS PARA LA PANDEMIACOID-19

El síndrome respiratorio agudo severo del coronavirus 2 (SARS-CoV-2), que causa el Coronavirus 2019 (Covid-19), se ha propagado y se ha convertido rápidamente en una pandemia. A raíz de la enfermedad, los mercados brasileño y mundial se han encontrado en una situación de escasez de ventiladores mecánicos, por lo que esta investigación presenta el objetivo de comprender el desarrollo de los ventiladores mecánicos para la atención de pacientes afectados por la Covid-19, centrándose en las dificultades y la configuración de la innovación. Para eso, se realizó una investigación exploratoria con enfoque cualitativo, un estudio de casos múltiples, con la recolección de datos a través de entrevistas semiestructuradas con agentes innovadores. Se aplicó la técnica de análisis de contenido de los datos y los resultados demuestran que se los equipos desarrollados son una innovación frugal, ya que presentan al menos cuatro características de este tipo de innovación: accesibilidad y bajo costo; atención a una necesidad específica; uso de piezas alternativas; e innovación. Los participantes mostraron resiliencia para superar las dificultades asociadas con el costo de aprobación; tiempo, creatividad y distancia social; necesidades específicas de conocimiento; y la necesidad de trabajar con un margen de coste reducido. La investigación presenta un aporte a la comprensión del desarrollo de la innovación frugal en un contexto de contingencia, como fue el caso de la pandemia, centrándose en los individuos creativos y en el proceso de creación.

Palabras-clave: Coronavirus. Innovación frugal. Ventilador mecánico. Innovación.

INTRODUÇÃO

Em dezembro de 2019, em Wuhan, na China, foi detectado um novo tipo de Coronavírus denominado SARS-CoV-2, causador da doença COVID-19 (LI *et al.*, 2020; LANA *et al.*, 2020; TATUM *et al.*, 2020). Em pouco tempo, o vírus, que é altamente contagioso, se espalhou pelo mundo, sendo considerada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) uma pandemia. Como resultado dessa elevada taxa de contágio, os países adotaram o isolamento social como meio de controlar a disseminação do vírus. Mesmo com esses esforços, a propagação do SARS-CoV-2 ainda apresenta crescimento, provocando crise nos sistemas públicos de saúde de diversos países (SEGARS *et al.*, 2020).

Pacientes infectados pela Covid-19 podem vir a evoluir para a chamada Síndrome do Acometimento Respiratório Severo (SARS-CoV), necessitando de cuidados intensivos, tais como ventilação mecânica (FERNANDES *et al.*, 2020; SEGARS *et al.*, 2020). Ventiladores mecânicos são considerados essenciais para tratar os casos graves da doença, o que provocou uma disputa mundial por esses equipamentos, ocasionando escassez no mercado e elevação do preço de alguns modelos (LANDIM, 2020).

No início do mês de abril de 2020, o Brasil contabilizava 65.411 ventiladores mecânicos, dos quais 3.639 não estavam em funcionamento porque não haviam ainda sido instalados ou por estarem em manutenção (TENENTE, 2020). Ademais, no mercado brasileiro, esses equipamentos têm valor elevado, variando de R\$ 50.000,00 para os modelos mais simples até R\$ 200.000,00 para os mais avançados (GRANCHI, 2020). Deste modo, o custo elevado e a escassez do equipamento representam um desafio para o enfrentamento da referida doença.

Com isso, algumas pessoas, grupos e universidades buscaram desenvolver aparelhos a fim de suprir essa demanda, priorizando o baixo custo. O contexto da pandemia passou a requerer resposta rápida para o problema que se apresentava. Desse modo, buscou-se compreender neste estudo: quais foram as dificuldades encontradas por indivíduos que criaram respiradores mecânicos? É possível caracterizar essa inovação como frugal?

A inovação frugal é considerada a criação ou melhora de um produto com poucos recursos. De modo geral, a inovação frugal precisa ser funcional e de baixo custo (HOSSAIN, 2018). Esse tipo de inovação cria valor e representa uma alternativa para atendimento de necessidades sociais. Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi compreender o desenvolvimento de ventiladores mecânicos destinados ao atendimento das necessidades da COVID-19, focando em dificuldades e na configuração da inovação.

Para este artigo, inicialmente, apresenta-se uma revisão teórica sobre inovação frugal e, em seguida, descreve-se a metodologia empregada, seguida da apresentação e análise dos dados e, por fim, das conclusões do estudo.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta os conceitos-chave que sustentaram o desenvolvimento desta pesquisa. Desse modo, expõe sobre inovação e, em seguida, aborda inovação frugal, evidenciando distintos conceitos, características, dimensões e importância.

1.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE INOVAÇÃO

A inovação é uma forma das organizações buscarem vantagem competitiva e promoverem desenvolvimento econômico (SCHUMPETER, 1961, 1997). Para Schumpeter (1997), por meio de um processo que ele denominou de “destruição criativa”, empresas devem substituir antigos produtos, educando os consumidores a desejarem novas coisas.

A inovação surge então como um conceito que conduz ao desenvolvimento econômico por meio de cinco possibilidades: introdução de um novo bem ou de uma nova qualidade de um bem; introdução de um novo método de produção; abertura de um novo mercado; conquista de uma nova fonte de oferta de matérias primas ou de bens semimanufaturados; e estabelecimento de uma nova organização de qualquer indústria (SCHUMPETER, 1997). Passa a ser considerada como um processo de aprendizagem e descoberta de novos produtos, processos e novas formas de organização econômica (DOSI, 1990) e como fonte de desenvolvimento global (ZHU; QIU; LIU, 2020). Com isso as corporações passaram a alocar seus recursos objetivando o desenvolvimento de novas técnicas e produtos, caracterizando a evolução das indústrias, acometidas pela inovação (DOSI, 1988).

Para Schumpeter (1961), o tamanho da empresa estava diretamente associado à sua capacidade inovadora e, com isso, grandes empresas seriam as principais fontes de inovação, em razão de sua maior capacidade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento, bem como da habilidade delas em absorver falhas. Como consequência, grandes organizações buscam vantagem competitiva por meio de inovação (SRIVASTAVA, 2015; MAGHSOUDI; DUFFIELD; WILSON, 2015; QAMRUZZAMAN, 2017; MORAES; CAMPOS; LIMA, 2019).

No entanto, a abordagem proposta por Teece (1992) amplia a discussão da inovação para o âmbito de empresas de diversos tamanhos, alegando que elas podem desenvolver suas capacidades dinâmicas e inovativas por meio de alianças. Para este autor, o desafio das corporações reside no equilíbrio entre competição e cooperação (TEECE, 1992), e a força-

motriz da inovação reside na identificação de necessidades não atendidas por clientes que estariam dispostos a pagar um valor para supri-la, o que pode ocorrer em novos mercados ou nos mercados já estabelecidos (TEECE, 2018).

A inovação passa a ser entendida como uma trajetória associada a viabilidades e a um processo cumulativo (NELSON; WINTER, 1977). Ela envolve informações provenientes de experiências anteriores, conhecimentos formais e conhecimentos não codificados (DOSI, 1988) e representa um catalisador para o desenvolvimento de empresas (TIDD; BESSANT; PAVITT, 2008; GOMES; TEIXEIRA, 2018).

O conceito de inovação expande-se também para o setor de bens e serviços e amplia-se para inovação em produtos, inovação em processos, inovação organizacional e de *marketing* (OCDE, 2018). Entendida como um sistema composto pela entrada e controle de recursos, processos e saídas (KOERICH; CANCELLIER, 2019), ela é dependente de recursos (DOSI, 1990; MAZIERI, 2016) e da necessidade de clientes ou de um problema ou necessidade social (EDWARDS-SCHACHTER, 2018).

Contudo, a inovação em países emergentes encontra limitação de recursos (FAROOQ, 2017; SCHLEINKOFER *et al.*, 2019; FERNANDES *et al.*, 2020). Nesse sentido, uma outra dinâmica precisa ser implementada para oferecer produtos acessíveis e de qualidade boa (ZESCHKY; WIDENMAYER; GASSMANN, 2011), contribuindo para o desenvolvimento de capacidades inovativas nesses mercados (LIM; HAN; ITO, 2013). Com isso, conceitos como inovação inclusiva e inovação frugal passam a ser discutidos no campo de estudos (HEEKS; FOSTER; NUGROHO, 2014) e a inovação não se restringe apenas a empresas, mas pode ter origem em comunidades (CORSINI; DAMMICCO; MOULTRIE, 2021).

1.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE INOVAÇÃO FRUGAL

A inovação frugal é um tema recente de pesquisa (HOSSAIN, 2018), que se encontra em processo de construção (HOSSAIN; SIMULA; HALME, 2016). O conceito de inovação frugal é associado à inovação em contextos de baixa renda, às necessidades de mercado, à utilização de custos reduzidos e resolução de problemas locais (HOSSAIN, 2018; SIMULA; HOSSAIN; HALME, 2015; WEYRAUCH; HERSTATT, 2016; FAROOQ, 2017; ZHANG, 2018). Salienta Hossain (2017) que existem muitas definições de inovação frugal, mas todas têm em comum o desenvolvimento de produtos e/ou serviços de baixo custo, porém com qualidade suficiente, e modelos de negócios para consumidores de baixa renda em países em

desenvolvimento. A inovação frugal pode ser desenvolvida por empresas em países emergentes ou ainda por indivíduos, grupos ou empresas em geral (HOSSAIN, 2018).

Em revisão de literatura de estudos publicados sobre o tema desde 1990, Pisoni, Michelini e Martignoni (2018) identificaram três gerações de conceito, sendo estas: definição de inovação frugal orientada pelo produto, definição orientada pelo mercado e definição orientada pelo critério de redução de custos, funcionalidade etc. Por sua vez, Santos, Borini e Oliveira (2020), por meio de revisão sistemática de literatura de publicações entre 2011 e 2019, identificaram três *clusters*, a saber: a) *cluster 1* - inovação frugal como solução tecnológica de baixo custo orientada pela limitação de recursos; 2) *cluster 2* - inovação frugal não é apenas para países em desenvolvimento, mas uma solução tecnológica frugal para qualquer país ou tipo de cliente; e 3) *cluster 3* - inovação frugal busca criar valor além do valor econômico. Outra distinção para a inovação frugal é apresentada por Simula, Hossain e Halme (2015), sendo: inovação frugal de base, que consiste na identificação de uma solução para atender a uma determinada necessidade; a inovação frugal comercial e econômica, que objetiva lucro comercial; e a inovação frugal social, que trata da inovação motivada pela identificação de problemas sociais.

As concepções teóricas iniciais da inovação frugal centram-se na abordagem comercial, de produto e mercado, bem como na ação de empresas em países emergentes ou em desenvolvimento. Nesse contexto, autores sugeriram que grandes empresas poderiam promover o seu crescimento explorando mercados na base da pirâmide econômica (PRAHALAD; HAMMOND, 2002). Isso porque empresas locais não apresentariam interesse ou capacidades para atender esse mercado ou ainda não vislumbrariam lucratividade atrativa (LIM; HAN; ITO, 2013).

Para esta abordagem, empresas que desejarem investir em países emergentes precisarão considerar que as inovações não podem ter a mesma abordagem quando comparadas a mercados tradicionais, cujo foco é inovar para pessoas com maior poder de renda, utilizando recursos abundantes para produzir produtos e serviços com elevado custo. Elas precisam estar dispostas a empregar novas abordagens aos negócios, trabalhando com o princípio de fazer o melhor com menos recursos (SIMULA; HOSSAIN; HALME, 2015; FAROOQ, 2017; PISONI; MICHELINI; MARTIGNONI, 2018), bem como desenvolver estruturas e capacidades para lidar com o desenvolvimento de produtos frugais (ZESCHKY; WIDENMAYER; GASSMANN, 2011). Sendo assim, inovações frugais desafiam modelos de negócios tradicionais (LIM; HAN; ITO, 2013; FAROOQ, 2017), os quais não funcionariam em mercados emergentes (SCHLEINKOFER *et al.*, 2019).

Por sua vez, ao ofertar seus produtos com baixo custo e qualidade suficiente (BASU; BANERJEE; SWEENEY, 2013), as empresas contribuiriam para a melhoria da qualidade de vida da população de países emergentes e obteriam lucratividade para elas (PRAHALAD; HAMMOND, 2002). O efeito produzido seria o de um crescimento inclusivo, voltado à redução da pobreza e ao desenvolvimento social (GEORGE; McGAHAN; PRABHU, 2012).

É importante salientar a inovação inclusiva, que tem despertado o interesse de pesquisadores e de corporações (CHATAWAY; HANLIN; KAPLINSKY, 2014; HEEKS; FOSTER; NUGROHO, 2014), e que consiste em uma forma de criar ou aumentar as oportunidades dos consumidores de mercados emergentes, por meio do desenvolvimento de novas ideias (GEORGE; McGAHAN; PRABHU, 2012). Essas ideias podem ser frutos da diminuição de algumas barreiras, como as de custo, geográficas, sociais e estruturais, que podem bloquear o acesso às oportunidades (GEORGE; MCGAHAN; PRABHU, 2012).

Como fatores antecedentes, a inovação frugal pode ser determinada por disparadores, tais como clientes potenciais, isolamento social, cultura, injustiça social, *gap* no produto, no mercado ou na inovação. Além disso, motivações como necessidades especiais, emprego de trabalho manual, ganhos monetários, associado a benefício para a sociedade ou para a natureza, reconhecimento externo e intervenção externa podem resultar em inovação frugal. Por fim, iniciativas do tipo ajuda de família e amigos, conversa com consumidores, apresentação de produtos em feiras, também foram mencionados (HOSSAIN, 2020).

Em razão disso, a inovação frugal aproxima-se da inovação responsável, entendida como uma forma de cuidar do futuro mediante a administração coletiva da ciência e da inovação. Ela é composta por quatro dimensões: antecipação, reflexividade, inclusão e responsividade (STILGOEA; OWENB; MACNAGHTEN, 2013). Para que esse tipo de inovação ocorra é necessário integrar e relacionar os interesses de corporações com a vulnerabilidade estrutural da sociedade (HELLSTRÖM, 2003).

No Quadro 1 são apresentadas algumas definições de inovação frugal, mostrando a evolução do conceito, bem como seus principais aspectos.

Quadro 1: Definições de inovação frugal

Autor (ano)	Definição
Zeschky, Widenmayer, Gassmann (2011)	“Resposta a severas restrições de recursos com produtos que apresentam vantagens de custo extremas em comparação com as soluções existentes.”
Agnihotri (2014)	“Inovação frugal refere-se aos produtos e serviços inovadores desenvolvidos sob condições de restrição de recursos.”
Zeschky, Winterhalter, Gassmann (2014)	“Inovações em produtos e serviços destinadas a clientes com recursos limitados em mercados emergentes.”
Hossain, Simula, Halme (2016)	“A inovação frugal refere-se à produtos e serviços acessíveis, fáceis de usar e inovados sob condições de escassez de recursos.”

Colledani <i>et al.</i> (2016)	“A inovação frugal é um processo de adaptação de bens e suas produções, adequada às necessidades dos clientes-alvo.”
Bianchi <i>et al.</i> (2017)	“[...] processo cognitivo específico para criar e aplicar conhecimento para resolver problemas que podem ter impacto na inclusão social, sem necessariamente estarem inseridos em um movimento social ou político.”
Farooq (2017)	“[...] construto multidimensional com acessibilidade, simplicidade, qualidade, sustentabilidade, resiliência, apoio à gestão.”
Hossain (2017)	“A inovação frugal é considerada uma nova fonte de inovação que visa atender as necessidades dos clientes de baixa renda.”
Rosca, Arnold, Bendul (2017)	“A inovação frugal é uma abordagem inclusiva da inovação que maximiza o valor para clientes, acionistas e sociedade - enquanto reduz significativamente o uso de recursos financeiros e naturais.”
Lim, Fujimoto (2019)	“[...] “inovações de baixo custo” para a extremidade inferior não atendida da massa mercado.”
Albert (2019)	“A inovação frugal é principalmente entendida como uma nova solução, geralmente um produto, que é gerado por meio de um novo processo repensado (comparado aos processos convencionais de inovação).”

Fonte: Elaborado pelas autoras a partir de Zeschky, Widenmayer e Gassmann (2011), Agnihotri (2014), Zeschky, Winterhalter e Gassmann (2014), Hossain, Simula e Halme (2016), Colledani *et al.* (2016), Bianchi *et al.* (2017), Farooq (2017), Hossain (2017), Rosca, Arnold e Bendul (2017), Lim e Fujimoto (2019) e Albert (2019).

Como pode ser observado, a inovação frugal está associada a produtos e serviços de custo acessível e a contexto de escassez de recursos. Para Weyrauch e Herstatt (2016), a inovação frugal abarca pelo menos três categorias: redução de custos, funcionalidade e nível de desempenho. Rosca, Arnold e Bendul (2017, p. 6) salientam que a inovação frugal está associada ao paradoxo de "fazer mais com menos", ou seja, produzir de maneira mais econômica e com menos impacto social. Isso pode ocorrer tanto pelo emprego de materiais de baixo custo, como por meio da redução de custos de mão de obra (SIMULA; HOSSAIN; HALME, 2015). Além disso, a inovação frugal pode ser gerada pelo emprego de matérias-primas reutilizadas ou com a redução dos custos de manutenção (HOSSAIN, 2018), mediante meios econômicos e suficientemente bons (LIM; FUJIMOTO, 2019; SONI; KRISHNAN, 2014). Com isso, o desafio da inovação frugal é inovar com poucos recursos ou com recursos limitados (FAROOQ, 2017; PISONI; MICHELINI; MARTIGNONI, 2018). Para isso, empresas precisam desenvolver capacidades voltadas ao desenvolvimento de produtos frugais (ZESCHKY; WIDENMAYER; GASSMANN, 2011).

Um dos aspectos importantes no conceito está associado à compreensão da frugalidade (HOSSAIN; SIMULA; HALME, 2016). Para se caracterizar como frugal, segundo Albert (2019), a inovação precisa ser: (1) uma nova solução ou solução disruptiva; (2) um processo ou resultado; (3) iniciadora da inovação econômica; (4) relacionada a seus mercados-alvo; (5) relacionada ao meio ambiente, a gerações futuras e países emergentes; e (6) relacionada a critérios, atributos e caracterizações da inovação frugal. Basu, Banerjee e Sweeny (2013) mencionam que, para ser frugal, é preciso que a inovação seja associada a aspectos como:

robustez; portátil/leve; conectividade para diferentes locais e situações; fácil utilização; distribuição por canais não convencionais; alavancagem por produtos e serviços já existentes, ou seja, adaptada; utilização de recursos locais para seu desenvolvimento; utilização de tecnologias verdes, a partir de recursos renováveis e custo acessível. O Quadro 2 apresenta uma sumarização das características da inovação frugal.

Quadro 2: Características da inovação frugal.

Autor (ano)	Características
Brem, Wolfram (2014)	Sofisticação; sustentabilidade; orientação para o mercado emergente.
Angot, Ple (2015)	Acessibilidade; desempenho; sustentabilidade; usabilidade.
Simula, Hossain, Halme (2015)	Baixo custo; funcionalidade; simplificação; práticas ambientais sustentáveis.
Weyrauch, Herstatt (2016)	Redução de custos; funcionalidade; desempenho.
Farooq (2017)	Acessibilidade; qualidade; sustentabilidade; resiliência; suporte gerencial; munificência ambiental.
Hossain (2018)	Funcionalidade; baixo custo.
Schleinkofer <i>et al.</i> (2019)	Redução substancial de custo; funcionalidade; nível de desempenho otimizado.

Fonte: Elaborado pelas autoras a partir de Brem e Wolfram (2014), Angot e Ple (2015), Simula, Hossain e Halme (2015), Weyrauch e Herstatt (2016), Farooq (2017), Hossain (2018) e Schleinkofer *et al.* (2019).

Do ponto de vista do processo, a inovação frugal apresenta como características: disruptiva, uso de baixa tecnologia, design baseado em dificuldades, utilização de recursos locais e de produção local, ato de fazer mais com menos e atitude de *bricoleur* (CORSINI; DAMMICCO; MOULTRIE, 2021). O processo experimental apresenta passos arriscados, utilização de recursos próprios, busca de empréstimos de risco, desenvolvimento de numerosos protótipos, busca por conhecimento, por novos materiais e *feedback* e persistência dos inventores (HOSSAIN, 2020). O processo é dependente do ator (VESCI *et al.*, 2021) e o papel de agência no contexto de inovação frugal é muito importante, embora crítico (HOSSAIN, 2018).

No tocante aos resultados, a inovação social, além de apresentar baixo custo, eficiência em custo, perdas acessíveis, fácil utilização, novas aplicações (CORSINI; DAMMICCO; MOULTRIE, 2021), gera: produtos acessíveis, produtos sustentáveis, criação de novos mercados e novo modo de pensar a inovação (HOSSAIN, 2020). Para esse modo é preciso agilidade no *mindset* dos inovadores frugais (VESCI *et al.*, 2021).

Quanto à difusão da inovação frugal, Hossain, Simula e Halme (2016) identificaram quatro padrões: local, proximidade, distância e difusão global. No entanto, ao analisar quatro casos, os autores afirmam que raramente esse tipo de inovação pode ser difundido globalmente. Pisoni *et al.* (2017) salientam que, para difusão, as empresas precisam definir uma estratégia, gerir o impacto e a aplicação. Além disso, Farooq (2017) constatou que o ambiente exerce

influência na relação entre inovação frugal e criação de valor ao identificar o efeito moderador da generosidade do ambiente na relação entre os constructos.

Ademais, enquanto inovação, os direitos de propriedade são relevantes. Esse aspecto é apontado por George, McGahan e Prabhu (2012) e Hossain (2018). Stilgoe, Owne e Macnaghten (2013) mencionam a importância de regimes alternativos de propriedade intelectual para inovações voltadas à legitimação de vozes.

Outro aspecto mencionado por estudos é o grau de associação entre inovação frugal e sustentabilidade. Albert (2019), por meio de revisão de literatura, identificou a conexão entre inovação frugal e sustentabilidade: a) inovação frugal como processo ou como resultado na sustentabilidade relacionada com a *Triple Bottom line*; b) inovação frugal e sustentabilidade ecológica, gerando produtos sustentáveis; c) inovação frugal e sustentabilidade social, criando oportunidades de baixo custo, resolvendo problemas sociais em áreas como saúde, alimentos, tecnologia da informação e comunicação, água e transporte; e d) inovação frugal e sustentabilidade econômica, efeito positivo da redução de custos. Outros autores mencionam a sustentabilidade como característica ou dimensão da inovação frugal, tais como Angot e Ple (2015) e Farooq (2017).

Em síntese, nota-se que o fenômeno da inovação frugal passou a ocorrer também fora das grandes corporações, sendo propagado por comunidades, *makers*, entre outros (CORSINI; DAMMICCO; MOULTRIE, 2021). Além disso, Hossain (2017) chama a atenção para o fato de que a inovação frugal reversa ocorre também em países ricos. Esse tipo de inovação se orienta pela sustentabilidade econômica, social e ambiental (ALBERT, 2019; HOSSAIN, 2018), assemelhando-se a uma inovação responsável (HELLSTRÖM, 2003; STILGOE; OWEN; MACNAGHTEN, 2013), inclusiva (HEEKS; FOSTER; NUGROHO, 2014), que busca resolver problemas locais a baixo custo, gerando crescimento inclusivo (HOSSAIN, 2018). Isso não implica desconsiderar o papel do design e da tecnologia na geração de inovações frugais (LIM; FUGIMOTO, 2019).

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa é qualitativa e exploratória. As pesquisas qualitativas têm o ambiente como fonte direta para a coleta de dados (KAUARK; MANHÃES; MEDEIROS, 2010). Por sua vez, as pesquisas exploratórias objetivam uma familiaridade com o problema (KAUARK; MANHÃES; MEDEIROS, 2010). O método empregado foi o estudo de caso, especificamente o de casos múltiplos (YIN, 2015).

Foram escolhidos quatro casos de desenvolvimento de ventiladores mecânicos empregados para o tratamento de pacientes com a SARS-CoV. Para tanto, inicialmente foi efetuado, em maio de 2020, um levantamento na plataforma “Google busca” combinando os termos “covid” e “ventiladores”, com o intuito de identificar ações voltadas ao desenvolvimento desses ventiladores, bem como seus responsáveis. Foram detectados oito projetos em desenvolvimento.

Na sequência, buscou-se o endereço eletrônico dos responsáveis por cada um dos projetos e para tanto, pesquisas foram realizadas na Plataforma *Lattes* e “Google busca”. De posse desses endereços, foram então encaminhadas mensagens eletrônicas a essas pessoas com vistas a consultá-las sobre a possibilidade de participarem da pesquisa. Quatro *e-mails* não foram respondidos e em outros quatro obteve-se retorno.

Dados primários e secundários foram utilizados. Dados secundários foram obtidos no “Google busca”, constituídos por cinco reportagens acerca do desenvolvimento desses ventiladores, buscando maior profundidade dos dados. Como dados primários, foram realizadas entrevistas, semiestruturadas, com desenvolvedores ou membros de equipe. O roteiro da entrevista versava sobre a origem da ideia, o tempo para desenvolvimento do produto, os obstáculos e facilitadores, o grau de originalidade e os testes e medidas para a proteção da inovação e pode ser observado no Quadro 3.

Quadro 3: Roteiro de entrevistas.

Perguntas
1 – O que o levou a desenvolver um ventilador, além da crise da pandemia do COVID-19?
2 – A ideia de desenvolver um ventilador mais barato já existia antes dessa pandemia?
3 – A ideia surgiu de um conhecimento anterior? O que o levou a pensar no desenvolvimento deste produto?
4 – Quanto tempo levou para a construção do ventilador?
5 – Quais materiais foram empregados? Em que difere dos materiais empregados pelos ventiladores existentes no mercado?
6 – Quais foram os obstáculos?
7 – Quais os facilitadores?
8 – Quanto custou?
9 – Qual a diferença do equipamento em relação ao disponível no mercado?
10 – Como foi testada a eficiência do ventilador?
11 – Você protegeu a invenção? Fez pedido de patente?
12 – O pedido de patente foi feito sozinho ou foi realizado com apoio de alguma universidade ou algum escritório?
13 – Foi realizado o pedido de regulamentação junto à Agência Nacional de Vigilância Sanitária?
14 – Para desenvolver o equipamento você contou com o apoio de alguma universidade ou pesquisador?

Fonte: Elaborado pelas autoras

As entrevistas foram gravadas mediante a autorização e transcritas na íntegra. A duração média de cada entrevista foi de 39 minutos. A confidencialidade dos dados foi assegurada pela entrega e assinatura de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido a cada um dos participantes, que foi devidamente assinado. O Quadro 4 detalha o perfil de cada entrevistado e o tempo de entrevista

Quadro 4: Detalhamento do perfil dos entrevistados e da duração das entrevistas

Entrevistado	Localização	Entrevistado	Sexo	Formação	Ocupação	Duração da entrevista
A	Paraná	Desenvolvedor	Masc.	História e Administração de empresas.	Empresário	46:04
B	Santa Catarina	Duas pessoas que desenvolveram o equipamento	Masc.	Engenharia Mecânica	Professor	41:54
C	Paraíba	Membro de uma equipe que desenvolveu o equipamento	Masc.	Ciências da Computação	Estudante	46:31
D	Paraná	Membro de uma equipe que desenvolveu o equipamento	Masc.	Engenharia Elétrica	Professor	23:57

Fonte: Dados da pesquisa de campo.

Para análise, foi realizada a análise de conteúdo (BARDIN,1977). A análise de conteúdo proposta por Bardin (1977) é composta por três fases: a) pré-análise; b) exploração do material; e c) tratamento dos resultados e interpretações. Após a transcrição das entrevistas, o material foi lido pelas pesquisadoras, em conjunto com apontamentos dos dados secundários. Após leitura e exploração, o material foi codificado e categorizado. As categorias foram: processo de criação do produto, obstáculos e facilitadores; regulamentação e proteção.

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Inicialmente, aborda-se o tempo para desenvolvimento dos ventiladores mecânicos e o respectivo custo, resumidos no Quadro 5.

Quadro 5: Tempo de desenvolvimento e custo.

Entrevistado	Tempo de desenvolvimento do primeiro protótipo	Custo
A	1 dia	R\$ 1.000,00 à R\$ 6.000,00
B	1 mês	R\$ 1.000,00 à R\$ 2.000,00
C	2 meses	R\$ 5.000,00
D	1 mês	R\$ 2.500,00 à R\$ 6.000,00

Fonte: Dados da pesquisa de campo.

A despeito das variações, todos participantes afirmaram que os equipamentos passaram por diversas melhoras desde as primeiras versões. Em relação aos custos, nota-se que o valor máximo foi de R\$ 6.000,00, inferior ao valor praticado no mercado, de R\$ 50.000,00 para os mais simples até R\$ 200.000,00 para os mais avançados (GRANCHI, 2020). Cabe ressaltar que o entrevistado A não tem intenção de vender o produto, mas sim, realizar doações a hospitais. O entrevistado possui um instituto de responsabilidade social sem fins lucrativos, que tem recebido contribuições em dinheiro para que possa produzir o ventilador e realizar as doações.

O desenvolvimento desses ventiladores mecânicos teve como principal motivador a pandemia do novo Coronavírus e como facilitador o fato de que os entrevistados tiveram auxílio de profissionais da saúde. No Quadro 6 estão detalhados os motivadores, facilitadores e barreiras no desenvolvimento dos ventiladores mecânicos sob a ótica de cada um dos entrevistados.

Quadro 6: Motivadores, facilitadores e barreiras para desenvolvimento dos ventiladores.

Entrevistado	Motivadores	Facilitadores	Barreiras
A	Pandemia do novo Coronavírus	Profissionais de saúde	Custos de homologação
B	Grupo da universidade	Mídia	Tempo, criatividade e distanciamento social.
C	Pandemia do novo Coronavírus	Profissionais de saúde	Adquirir conhecimento específico sobre o ventilador.
D	Pandemia do novo Coronavírus	Edital que viabilizou recursos	Trabalhar com uma margem de custo reduzida

Fonte: Dados da pesquisa de campo.

No que tange ao motivador para o desenvolvimento dos equipamentos, os entrevistados A, C e D ressaltaram que não houve nenhuma outra justificativa além da pandemia do novo Coronavírus, bem como a escassez do equipamento no mercado. Os entrevistados se motivaram pela possibilidade de poder auxiliar com a necessidade emergente mundial de ventiladores. O entrevistado B foi motivado por um grupo criado na universidade em que é vinculado, que buscava desenvolver um ventilador do tipo Ambu, sigla originada do termo *Artificial Manual Breathing Unit*, que é uma Unidade Manual de Respiração Artificial, ou Reanimador Manual. Assim, cogitou a possibilidade de criar um equipamento que partisse de outro princípio, utilizando peças alternativas. Esses fatores motivadores foram principalmente as necessidades especiais do momento, como apontado por Hossain (2020). É importante salientar que no caso B o motivador para o desenvolvimento foi principalmente a universidade, evidenciando o papel de universidades em países emergentes na geração de inovação frugal. Destaca-se ainda o caso

D, que concorreu a um Edital com recursos. Nesse sentido, Stilgoe, Owne e Macnaghten (2013) mencionam a importância do papel da governança para questões associadas a inovação responsável. No caso em estudo, a agilidade na oferta de recursos públicos contribuiu para o desenvolvimento do protótipo B.

Como fator facilitador, os entrevistados A e C atribuem aos auxílios prestados por profissionais da saúde, que por meio de experiências e expertises, auxiliaram a aperfeiçoar os ventiladores. Para eles, a opinião dos médicos e de outros profissionais da área possibilitou a identificação das necessidades e das funcionalidades necessárias, contribuindo para que esses requisitos fossem implementados. O entrevistado B considera que a mídia contribuiu para o desenvolvimento do equipamento. Por intermédio dos meios de comunicação algumas pessoas tomaram conhecimento do desenvolvimento do ventilador e se propuseram a auxiliar. No início, o entrevistado B relata que estava sem impressora 3D e então, por meio de uma rede de colaboradores que tinham tal equipamento, conseguiu imprimir as peças. O entrevistado D considera um facilitador o edital que a universidade em que ele é vinculado publicou, liberando recursos para fomentar ações para combate à pandemia. Isso demonstra que as experiências de inovação prescindem de um conjunto de atores, como ocorre na inovação aberta e com inovação em geral, tal como a experiência descrita em Andion, Alperstedt e Graef (2020).

No tocante às barreiras do desenvolvimento dos ventiladores mecânicos, o entrevistado A considera que para produzir o equipamento em si não houve empecilhos, citando apenas as normas referentes à homologação. Apesar de reconhecer a importância, mencionou os custos relacionados à aprovação do produto como uma barreira, que em sua opinião representa um valor significativo. O entrevistado B relata que o tempo, criatividade, bem como o distanciamento social foram fatores que obstaculizaram a criação do ventilador. Como as coisas estavam acontecendo remotamente, sentiu dificuldade da atuação de outros colaboradores. O entrevistado C explica que a dificuldade foi compreender alguns comandos necessários para o equipamento e que mesmo em contato com pessoas da área da saúde, foi difícil, uma vez que, segundo ele, profissionais da área de exatas têm uma linguagem, enquanto os da área da saúde têm outra linguagem técnica. Nesse sentido, considera que a dificuldade maior foi conseguir conhecimento específico do ventilador. O entrevistado D conta que a maior dificuldade foi trabalhar com uma margem de custo reduzida para produzir algo viável tecnicamente, pautado nas regulamentações dos órgãos competentes, uma vez que o objetivo do desenvolvimento deste equipamento foi de reduzir custos. Com isso, de modo sucinto, os dados da pesquisa mostraram que o desenvolvimento do processo de inovação apresentou como dificuldades: a) barreiras e restrições legais para homologação do produto/equipamento; b) custos para

aprovação da inovação; c) tempo e criatividade; d) distanciamento social – isolamento pela condição do momento; e) ausência de conhecimentos técnicos da área de saúde; f) custo de desenvolvimento do equipamento. Algumas dessas barreiras são inerentes ao desenvolvimento de inovações frugais, tal como a busca por conhecimentos (HOSSAIN, 2020). A primeira dificuldade, que consiste na barreira e restrições legais para homologação do produto/equipamento, denota a necessidade de pensar formas alternativas para homologação de equipamentos em condições de contingência, como o caso da Pandemia, e que também flexibilizem custos de aprovação. Nesse sentido, Stilgoe, Owne e Macnaghten (2013) mencionam a necessidade de mecanismos alternativos de proteção e licenças para assegurar a velocidade da antecipação.

O grau de originalidade, testes e medidas tomadas para a proteção da inovação foram essenciais no desenvolvimento de novos equipamentos. No Quadro 7 são apresentados os materiais empregados na elaboração dos protótipos e as diferenças em relação aos ventiladores existentes no mercado.

Quadro 7: Materiais empregados e diferença em relação aos ventiladores existentes no mercado.

Entrevistado	Materiais empregados nos protótipos	Diferenças em relação aos ventiladores existentes no mercado
A	Itens da linha pneumática e controladores elétricos	Tela <i>touch</i>
B	Válvulas <i>on-off</i> , bico injetor de combustível, <i>tablet</i> e peças de impressora 3D	Nível de vasão
C	Válvulas, sensores, microcontroladores e componentes eletrônicos como <i>display</i> LCD	Tecnologia, regionalização e custo
D	Itens da linha pneumática	Modos de operação

Fonte: Dados da pesquisa de campo.

Os entrevistados A e D relataram que os ventiladores que criaram utilizaram itens da linha pneumática. O entrevistado B utilizou válvulas *on-off*, bico injetor de combustível, *tablet* e peças confeccionadas através de impressão 3D. O bico injetor de combustível entra como substituição dos sensores tradicionais encontrados em ventiladores mecânicos, mas que possuem um valor elevado. Nesse sentido, o uso do sensor veicular busca substituir essa peça, bem como manter o custo acessível. O entrevistado B ressalta que os materiais utilizados para produzir um protótipo podem ser adaptados de acordo com a empresa que tiver interesse em fabricá-lo, pois trata-se de um projeto aberto. Os materiais empregados no equipamento C não podem ser mencionados por questão de sigilo da empresa que irá fabricá-lo, mas o entrevistado adiantou que foram provenientes de várias indústrias, entre elas a automobilística, encontrados no mercado local. Além disso, foram utilizadas válvulas, sensores, microcontroladores,

componentes eletrônicos como *display* LCD, sigla originada do termo *Liquid Crystal Display*, que se refere a um *Display* de Cristal Líquido.

Conforme apontado pelo entrevistado A, a diferença do ventilador por ele desenvolvido em relação ao existente no mercado é a ausência da tela *touch*, que permite realizar a programação do equipamento de forma simplificada. Para ele, a disponibilidade de peças para produção em massa e o baixo custo são considerados diferenciais do equipamento, corroborando com critérios de inovação definidos anteriormente. O entrevistado B cita os níveis elevados de vazão que os equipamentos existentes podem chegar. Apesar dessa diferença, o entrevistado garante que é possível incluir algumas capacidades via *software*. Além disso, afirma que o equipamento é de baixo custo e conta com peças disponíveis no mercado brasileiro e de fácil fabricação. O entrevistado C atribui as diferenças do equipamento criado por ele à tecnologia que o próprio grupo desenvolveu e à regionalização do trabalho, que acarreta a terceira diferença, o custo. O entrevistado D relata que a distinção está nos modos de operação, que no seu caso é por pressão e volume. O entrevistado A ressalta que, paralelamente à regulamentação do seu equipamento, está desenvolvendo um ventilador mecânico com a tela *touch*.

O Quadro 8 apresenta os dados sobre os testes, regulamentação junto à Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) e depósito de patente junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

Quadro 8: Testes realizados, regulamentação junto à Anvisa e depósito de patente.

Entrevistado	Testes	Regulamentação junto à Anvisa	Depósito de patente
A	Testes em seres humanos	Já realizou o pedido	Já realizou o pedido
B	Testes de bancada e teste em animal	Não realizou o pedido	Já realizou o pedido
C	Testes de bancada	Já realizou o pedido	Já realizou o pedido
D	Testes de bancada	Não realizou o pedido	Não realizou o pedido

Fonte: Dados da pesquisa de campo.

O equipamento A foi testado diversas vezes, em distintas cidades e estados. Além disso, o ventilador foi aceito por médicos, que atestaram a capacidade do produto para auxiliar no tratamento da SARS-CoV. O entrevistado B descreve que o equipamento passou por testes de bancada em equipamentos que simulam um pulmão. O ventilador também foi experimentado em uma ovelha, mas o teste mais completo foi realizado por meio de um simulador eletrônico que atua em diversas condições distintas. Segundo esse entrevistado, o equipamento apresentou

bom desempenho no modo fundamental, mas no modo de recuperação fisioterápico, utilizado para pacientes que se recuperaram e precisam realizar uma espécie de desmame do equipamento para restabelecer a musculatura do pulmão, o simulador detectou um pequeno atraso na resposta do ventilador, entre 200 e 300 milissegundos. Nesse sentido, ajustes foram realizados no equipamento e está aguardando para realizar novos testes. O entrevistado C fez testes com dois pulmões artificiais, que foram concluídos em uma semana. O próximo passo será passar pelo comitê de ética, para realizar a testagem em animais e posteriormente em seres humanos. O ventilador criado pelo entrevistado D passou por testes de bancada, com um pulmão artificial.

Em relação ao depósito de patente, o entrevistado A informou que já realizou a solicitação e, para tanto, contou com o auxílio de um escritório de patentes. Os entrevistados B e C também realizaram tal solicitação e tiveram apoio das universidades as quais estão vinculados. O entrevistado D não teve tempo hábil para realizar o pedido de patente, mas deu início ao processo com o auxílio e suporte da universidade em que está vinculado.

No tocante ao registro e homologação do equipamento nos órgãos competentes, o entrevistado A já realizou o pedido junto à Anvisa e aguarda uma devolutiva. A Agência tem mantido contato constante, solicitado alterações no manual, assim como tecidos comentários para a melhoria do equipamento. O entrevistado B mencionou dificuldades em fazer uma homologação, pois o protótipo foi montado com algumas peças de impressora 3D, mas que não representa necessariamente a versão final do equipamento. Segundo ele, o material empregado na produção do equipamento depende da empresa que irá produzi-lo, e citou como exemplo o fato de que uma empresa especialista em usinagem de alumínio irá fazer as peças em alumínio, empresas especialistas em polímeros irão fazer as peças injetadas. Como até o momento não existia uma empresa interessada em produzir o equipamento, ele não se encontra em sua versão final, pois não sabe quais materiais serão empregados pela possível empresa que irá fabricá-lo.

Para a homologação nos órgãos certificadores, o equipamento precisa estar concluído, com a discriminação das peças e matérias-primas utilizadas em sua produção, o que impossibilitou a homologação. Apesar de não possuir a homologação, o entrevistado B infere que o equipamento cumpre os requisitos médicos. O entrevistado C está concluindo o processo junto à ANVISA, com o suporte da empresa parceira que irá produzir o ventilador. O entrevistado D ainda não realizou o registro e homologação, uma vez que está aguardando uma empresa que tenha interesse em produzir o equipamento. Salienta-se que um dos aspectos para avaliação da inovação frugal é a difusão dessa inovação (HOSSAIN; SIMULA; HALME, 2016). Ao comparar casos em diferentes países, Corsini, Dammicco e Moultrie (2021) concluíram que não são as capacidades de fabricação de equipamentos que possibilitaram a

inovação frugal, mas sobretudo a habilidade em suportar a distribuição geográfica no local. Com isso, os inventores precisam pensar simultaneamente em como gerir estrategicamente a difusão (PISANI *et al.*, 2017), mas é também importante o papel do ambiente (FARROQ, 2017).

De modo sucinto, os passos descritos ilustram o processo de construção de inovações frugais, que utilizam baixa tecnologia, design baseado em dificuldades, além de recursos e produção locais, buscando fazer mais com menos (CORSINI; DAMMICCO; MOULTRIE, 2021), desenvolvendo diversos protótipos a um preço acessível (HOSSAIN, 2020), com simplicidade e qualidade (FARROQ, 2017). Os inovadores participantes desta pesquisa assemelham-se a *bricoleurs* (CORSINI; DAMMICCO; MOULTRIE, 2021) que buscam criar algo a partir de poucos recursos. Além disso, há outro aspecto importante para os casos em estudo, que é a velocidade de propagação da doença, que requereu uma atitude de antecipação à descoberta, configurando a importância do papel do tempo na criação de valor. Nesse sentido, Bruyat e Julien (2000) discutem a relação recursiva entre inventor e criação de valor e como o tempo exerce influência no processo.

4 ANÁLISE DA INOVAÇÃO FRUGAL NO CONTEXTO DA PANDEMIA

Os dados desta pesquisa propiciaram a oportunidade de estudar a inovação frugal em seu contexto. Corsini, Dammicco e Moultrie (2021) salientam a relevância de estudar a inovação frugal em seu contexto. Eles acrescentam ainda o papel da habilidade do inovador, sendo a frugalidade direcionada pela habilidade dos criadores em replicar localmente, adaptar e produzir inovações conforme suas necessidades e limitações. O estudo de casos de desenvolvimentos de ventiladores mecânicos demonstrou a importância do papel de agência dos inventores, como advertem Vesci *et al.* (2021).

Em síntese, a análise dos dados propiciou a observação de alguns aspectos como: processo de criação do produto; motivadores, facilitadores e barreiras; regulamentação e proteção. No que tange ao custo dos equipamentos, os valores variaram de R\$ 1.000,00 a R\$ 6.000,00. Cabe ressaltar que, com exceção do equipamento A, os demais referem-se apenas ao valor gasto na produção do protótipo, sem considerar fatores como impostos, encargos, mão de obra e lucro da empresa que irá produzi-lo. Apesar disso, os valores apresentados são consideravelmente inferiores ao preço praticado no mercado, antes da pandemia, que variava de R\$ 50.000,00 a R\$ 200.000,00 (GRANCHI, 2020). Ademais, os preços desses equipamentos aumentaram devido a demanda mundial. Levantamento realizado por Toledo (2020) revela que alguns estados brasileiros chegaram a pagar, em um único equipamento, um valor superior ao

máximo praticado no mercado antes da pandemia. O valor acessível é apontado por distintos autores como uma característica da frugalidade (BASU; BANERJEE; SWEENY, 2013; ZESCHKY; WINTERHALTER; GASSMANN, 2014; SIMULA; HOSSAIN; HALME, 2015; ANGOT; PLE, 2015; WEYRAUCH; HERSTATT, 2016; HOSSAIN; SIMULA; HALME, 2016; ROSCA; ARNOLD; BENDUL, 2017; FAROOQ, 2017; HOSSAIN, 2017; HOSSAIN, 2018; LIM; FUJIMOTO, 2019; SCHLEINKOFER *et al.*, 2019).

Em relação aos fatores que levaram o desenvolvimento dos ventiladores, o principal motivador foi a situação causada pela pandemia do Coronavírus. A pandemia, dentre outros efeitos, causou crise nos sistemas de saúde de diversos países (SEGARS *et al.*, 2020). Nesse sentido, os ventiladores mecânicos, essenciais para tratar os casos agudos da doença, se tornaram escassos em nível mundial (LANDIM, 2020). O contexto emergente em que os ventiladores foram construídos é considerado, sob a ótica de autores como Bianchi *et al.* (2017) e Simula, Hossain e Halme (2015) como uma característica frugal, voltado a atender uma determinada necessidade.

Os ventiladores analisados foram desenvolvidos com a utilização de peças alternativas, uma vez que itens da linha médica possuem valor elevado. Peças como da linha pneumática industrial, automobilística e componentes eletrônicos foram empregados por meio de adaptação, corroborando com um dos aspectos notados em inovações frugais, o uso de peças alternativas (BASU; BANERJEE; SWEENY, 2013; SIMULA; HOSSAIN; HALME, 2015; COLLEDANI *et al.*, 2016; ALBERT, 2019). Entre as diferenças em relação aos ventiladores existentes no mercado, tem-se a ausência de tela *touch*; nível de vasão, tecnologia, regionalização e custo; e os modos de operação.

Em síntese, como indicadores da frugalidade dos ventiladores desenvolvidos, os resultados da pesquisa mostraram quatro principais, demonstrados no Quadro 9.

Quadro 9: Indicadores da frugalidade, justificativa e autores.

Características	Justificativa/Dados da pesquisa	Autores
Acessibilidade e baixo custo	Os equipamentos desenvolvidos apresentam um valor inferior quando comparado aos preços praticados por equipamentos semelhantes no mercado.	Basu, Banerjee, Sweeny (2013); Zeschky, Winterhalter, Gassmann (2014); Simula, Hossain, Halme (2015); Angot, Ple (2015); Weyrauch, Herstatt (2016); Hossain, Simula, Halme (2016); Rosca, Arnold, Bendul (2017); Farooq (2017); Hossain (2017); Hossain (2018); Lim, Fujimoto (2019); Schleinkofer <i>et al.</i> (2019).
Atendimento a determinada necessidade	O principal motivador para o desenvolvimento dos ventiladores analisados foi o atendimento da necessidade que a demanda mundial desses equipamentos causou.	Bianchi <i>et al.</i> (2017); Simula, Hossain, Halme (2015).

Uso de peças alternativas	Os protótipos analisados foram desenvolvidos mediante a adaptação e uso de peças alternativas, uma vez que componentes da linha médica e hospitalar possuem valor elevado, o que poderia encarecer o produto final.	Basu, Banerjee, Sweeny (2013); Simula, Hossain, Halme (2015); Colledani <i>et al.</i> (2016); Albert (2019).
Inovação	Os ventiladores analisados são frutos de novas tecnologias, desenvolvidas por cada um dos entrevistados.	Agnihotri (2014); Hossain, Simula, Halme (2016); Albert (2019).

Fonte: Elaborado pelas autoras (2021).

Por fim, os resultados mostraram que os equipamentos estão ainda em fase de testes e caso comprovem eficiência em todas as etapas (testes de bancada, testes com animais e testes em humanos), podem ser caracterizados como eficientes. Eficiência, funcionalidade e usabilidade são requisitos apontados por alguns autores para caracterizar uma inovação como frugal (ANGOT; PLE, 2015; SIMULA; HOSSAIN; HALME, 2015; COLLEDANI *et al.*, 2016; WEYRAUCH; HERSTATT, 2016; HOSSAIN, 2017; BIANCHI *et al.*, 2017; SCHLEINKOFER *et al.*, 2019).

Além disso, os casos em estudo apresentaram elementos que permitem identificá-los como inovação inclusiva, tais como: a) reunião de recursos, implementação e desenvolvimento; b) redes sociais e organizacionais; c) governança e agência; d) custos de transação e organização econômica; e) engajamento de *stakeholders* e direitos de propriedade; f) adoção da inovação (GEORGE; McGAHAN; PRABHU, 2012). Apenas o último aspecto não foi constatado, pois a adoção de inovação não foi objeto de análise dos casos.

Os equipamentos já passaram por testes de bancadas e os próximos passos consistem nos avanços das testagens com animais e, posteriormente, com seres humanos. Em relação à regulamentação junto à Anvisa, dois entrevistados já realizaram o pedido e os outros dois não. Por fim, o depósito de patente já foi realizado por três dos quatro entrevistados, desenvolvendo diversos protótipos a um preço acessível (HOSSAIN, 2020), com simplicidade e qualidade (FAROOQ, 2017). Os participantes desta pesquisa atuaram como *bricoleurs* (CORSINI; DAMMICCO; MOULTRIE, 2021), criando valor com poucos recursos e com agilidade (VESCI *et al.*, 2021).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa analisou o desenvolvimento de ventiladores no contexto da inovação frugal frente à pandemia do novo Coronavírus. De acordo com os dados da pesquisa, os ventiladores desenvolvidos apresentam ao menos quatro características apontadas na literatura para inovação frugal, sendo estas: acessibilidade e baixo custo, atendimento a determinada necessidade, uso de peças alternativas e concepção inovadora do produto.

Foram identificadas as seguintes dificuldades para o desenvolvimento da inovação: custo de homologação; tempo, criatividade e distanciamento social; necessidade de conhecimento específico sobre o ventilador; e necessidade de trabalhar com uma margem de custo reduzida. Para superar essas dificuldades os participantes da pesquisa precisaram de um comportamento resiliente.

Como contribuição teórica, este estudo trouxe principalmente contribuições em dois aspectos. O primeiro deles está associado ao fato de discutir inovação frugal a partir de indivíduos criadores e não por organizações ou comunidades, como focaram outros estudos (HOSSAIN *et al.*, 2016; LIM, FUGIMOTO, 2019; VESCI *et al.*, 2021). Outra contribuição foi a de discutir o processo de inovação frugal no contexto brasileiro, ampliando assim os contextos de análise do fenômeno (CORSINI; DAMMICCO; MOULTRIE, 2021).

Além disso, este estudo apresenta elementos que podem auxiliar formuladores de políticas públicas e de políticas de inovação, buscando minimizar dificuldades encontradas por inovadores frugais, principalmente em casos de contingência, tal como ocorreu no estudo em questão.

Como limitação, destaca-se o fato de o estudo focar no processo de criação da inovação. Estudos futuros podem abordar a difusão da inovação frugal. Além disso, outros estudos podem focar nos ecossistemas de inovação frugal, a fim de avaliar o processo a partir de diversas instituições e atores.

REFERÊNCIAS

AGNIHOTRI, Arpita. Low-cost innovation in emerging markets. **Journal of Strategic Marketing**, v. 23, n. 5, p. 399-411, 2014.

ALBERT, Martin. Sustainable Frugal Innovation - The connection between frugal innovation and sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 237, p. 1-15, 2019.

ANDION, Carolina; ALPERSTEDT, Graziela Dias; GRAEF, Júlia Furlanetto Ecosistema de inovação social, sustentabilidade e experimentação democrática: um estudo em Florianópolis. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 54, n. 1, p. 181-200, 2020.

ANGOT, Jaques; PLÉ, Loïc. Serving poor people in rich countries: the bottom-of-the-pyramid business model solution. **Journal of Business Strategy**, v. 36, n. 2, p. 3-15, 2015.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. Lisboa: Edições, 1977.

BASU, Radha R.; BANERJEE, Preeta M.; SWEENEY, Elizabeth G. Frugal innovation: core competencies to address global sustainability. **Journal of Management for Global Sustainability**, v. 1, n. 2, p. 63-82, 2013.

BIANCHI, Carlos *et al.* Healthcare frugal innovation: A solving problem rationale under scarcity conditions. **Technology in Society**, v.51, p. 74–80, 2017.

BREM, Alexander; WOLFRAM, Pierre. Research and development from the bottom up-introduction of terminologies for new product development in emerging markets. **Journal of Innovation and Entrepreneurship**, v. 3, n. 1, p. 9, 2014.

BRUYAT, Chirstian; JULIEN, Pierre-André Defining the Field of Research in Entrepreneurship. **Journal of Business Venturing**, v. 16, n. 2, p.165-80, 2000.

CHATAWAY, Joanna; HANLIN, Rebecca; KAPLINSKY, Raphael. Inclusive innovation: an architecture for policy development. **Innovation and Development**, v. 4, n. 1, p. 33-54, 2014.

COLLEDANI Marcello *et al.* Technology-based product-services for supporting frugal innovation. **Procedia CIRP**, v. 47, p. 126-131, 2016.

CORSINI, L.; DAMMICCO, V.; MOULTRIE, J. Frugal innovation in a crisis: the digital fabrication maker response to COVID-19. **R&D Management**, v. 51, n.2, p. p. 195-210, 2021

DOSI, Giovanni. Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. **Journal of economic literature**, v.26, n.3, p. 1120-1171, 1988.

DOSI, Giovanni. Finance, innovation and industrial change. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 13, n. 3, p. 299-319, 1990.

EDWARDS-SCHACHTER, Mónica. The nature and variety of innovation. **International Journal of Innovation Studies**, v. 2, n. 2, p. 65-79, 2018.

FAROOQ, Rayees. A conceptual model of frugal innovation: is environmental munificence a missing link? **International Journal of Innovation Science**, v. 9, n. 4, p. 320–334, 2017.

FERNANDES, Cibelle Antunes *et al.* Desafios e recomendações para o cuidado intensivo de adultos críticos com doença de coronavírus 2019 (COVID-19). **Health Residencies Journal-HRJ**, v. 1, n. 1, p. 21-47, 2020.

FERNANDES, Julia *et al.* Produção Científica em Inovação Frugal: Uma Análise Bibliométrica/Scientific Production in Frugal Innovation: A Bibliometric Analysis. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 126-143, 2020.

GEORGE, Gerard; MCGAHAN, Anita M.; PRABHU, Jaideep. Innovation for inclusive growth: Towards a theoretical framework and a research agenda. **Journal of management studies**, v. 49, n. 4, p. 661-683, 2012.

GOMES, Rossana Alves de Oliveira Simão; TEIXEIRA, Clarissa Stefani. As tipologias de habitats de inovação: uma análise da legislação vigente do sul do Brasil sob luz do novo marco

legal de ciência, tecnologia e inovação. **REAVI-Revista Eletrônica do Alto Vale do Itajaí**, v.7, n.11, p.10-19, 2018.

GRANCHI, Giulia. Como o ventilador pulmonar age no corpo? Quando usá-lo? Tire dúvidas. **Uol**. São Paulo, abr. 2020. Canal viva bem. Disponível em: <https://www.uol.com.br/vivabem/faq/como-o-ventilador-pulmonar-age-no-corpo-quando-usa-lo-tire-duvidas.htm?next=0001H1073U240N>. Acesso em: 17 jun. 2020.

HEEKS, Richard; FOSTER, Christopher; NUGROHO, Yanuar. New models of inclusive innovation for development. **Innovation and Development**, v. 4, n. 2, 2014.

HELLSTRÖM, Tomas. Systemic innovation and risk: technology assessment and the challenge of responsible innovation. **Technology in Society**, v. 25, n. 3, p. 369-384, 2003.

HOSSAIN, Mokter. Mapping the frugal innovation phenomenon. **Technology in Society**, v. 51, p. 199-208, 2017.

HOSSAIN, Mokter. Frugal innovation: a review and research agenda. **Journal of Cleaner Production**, v. 182, p. 926-936, 2018.

HOSSAIN, Mokter. Frugal innovation: conception, development, diffusion, and outcome. **Journal of Cleaner Production**, v. 262, p. 121-456, 2020.

HOSSAIN, Mokter; SIMULA, Henri; HALME, Minna. Can frugal go global? Diffusion patterns of frugal innovations. **Technology in Society**, v. 46, p. 132-139, 2016.

KAUARK, Fabiana; MANHÃES, Fernanda Castro. MEDEIROS Carlos Henrique. **Metodologia da pesquisa: guia prático**. Itabuna: Via Litterarum, 2010.

KOERICH, Grazielle Ventura; CANCELLIER, Éverton Luís Pellizzaro De Lorenzi. Frugal Innovation: origins, Evolution and future perspectives. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 17, n. 4, p. 1079-1093, 2019.

LANA, Raquel Martins *et al.* Emergência do novo coronavírus (SARS-CoV-2) e o papel de uma vigilância nacional em saúde oportuna e efetiva. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, n. 3, p. 1-5, 2020.

LANDIM, Raquel. Preço de respiradores sobe mais de 200% na China em uma semana. **Cable News Network Brasil – CNN**. São Paulo, abr. 2020. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/2020/04/07/preco-de-respiradores-sobe-mais-de-200-na-china-em-uma-semana>. Acesso em: 12 jun. 2020.

LI, Qun *et al.* Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia. **The new England journal of medicine**. v. 382, p. 1199-1207, 2020.

LIM, Chaisung; FUJIMOTO, Takahiro. Frugal innovation and design changes expanding the cost-performance frontier: A Schumpeterian approach. **Research Policy**, v. 48, n. 4, p. 1016-1029, 2019.

LIM, Chaisung; HAN, Seokhee; ITO, Hiroshi. Capability building through innovation for unserved lower end mega markets. **Technovation**, v. 33, n. 12, p. 391-404, 2013.

MAGHSOUDI, Soroush; DUFFIELD, Colin; WILSON, David. Innovation evaluation: past and current models and a framework for infra structure projects. **International Journal of Innovation Science**, v. 7, n. 4, p. 281–297, 2015.

MAZIERI, Marcos Rogério. **Patentes e Inovação Frugal em uma perspectiva contributiva**. 371p. Tese (Doutorado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Nove de Julho. São Paulo, 2016. Disponível em: <https://bibliotecatede.uninove.br/handle/tede/1600>. Acesso em: 25 mai. 2020.

MORAES, Marcela Barbosa; CAMPOS, Teodoro Malta; LIMA, Emilson. Modelos de desenvolvimento da inovação em pequenas e médias empresas do setor aeronáutico no Brasil e no Canadá. **Gestão & Produção**, v. 26, n. 1, p. 1-15, 2019.

NELSON, Richard R.; WINTER, Sidney G. In search of a useful theory of innovation. **Innovation, economic change and technology policies**, v. 6, p. 215-245, 1977.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Manual de Oslo: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation**. 4. ed. OECD Publishing. Paris/Eurostat, Luxembourg, 2018.

PISONI, Alessia; MICHELINI, Laura; MARTIGNONI, Gloria. Frugal approach to innovation: State of the art and future perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 107-126, 2018.

PRAHALAD, Coimbatore K.; HAMMOND, Allen. Serving the world's poor, profitably. **Harvard business review**, v. 80, n. 9, p. 48-59, 2002.

QAMRUZZAMAN, Md. Innovation and economic growth: evidence from financial institutional innovation. **Journal on Innovation and Sustainability**, v. 8, n. 2, p. 126-141, 2017.

ROSCA, Eugenia; ARNOLD, Marlen; BENDUL, Julia C. Business models for sustainable innovation—an empirical analysis of frugal products and services. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. S133-S145, 2017.

SANTOS, Leandro Lima; SANTOS, Felipe Mendes; OLIVEIRA, Moacir de Miranda; ROSSETO, Dennys Eduardo; BERNARDES, Roberto Carlos. Bricolage as capability for frugal innovation in emerging markets in times of crisis. **European Journal of Innovation Management**, v.1, p.1-20, 2020.

SCHLEINKOFER, Uwe *et al.* Development and Evaluation of a Design Thinking Process Adapted to Frugal Production Systems for Emerging Markets. **Procedia Manufacturing**, v. 39, p. 609-617, 2019.

SCHUMPETER, Joseph Alois. **Capitalismo, Socialismo e Democracia**. (Editado por George Allen e Unwin Ltd., traduzido por Ruy Jungmann). Rio de Janeiro: Editora Fundo de Cultura, 1961.

SCHUMPETER, Joseph Alois. **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico** (1934). Tradução de Maria Sílvia Possas. Coleção Os Economistas. São Paulo: Nova Cultural, 1997.

SEGARS, James *et al.* Prior and Novel Coronaviruses, COVID-19, and Human Reproduction: WhatIs Known? **Fertility and Sterility**, v. 113, n. 6, p. 1140-1149, 2020.

SIMULA, Henri; HOSSAIN, Mokter; HALME, Minna. Frugal and reverse innovations – Quo Vadis? **Current Science**, v. 109, n. 5, p. 1567-1572, 2015.

SONI, Pavan; KRISHNAN, RishikeshT. Frugal innovation: Aligning theory, practice, and public policy. **Journal of Indian Business Research**, v. 6, n. 1, p. 29-47, 2014.

SRIVASTAVA, Shirish C. Innovating for the future: charting the innovation agenda for firms in developing countries. **Journal of Indian Business Research**, v. 7, n. 4, p. 314–320, 2015.

STILGOE, Jack; OWEN, Richard; MACNAGHTEN, Phil. Developing a framework for responsible innovation. **Research Policy**, v. 42, n. 9, p. 1568–1580, 2013.

TATUM, Carlos Tadeu Santana *et al.* Coronavírus no Processo de Impactação Científica Global. **Cadernos de Prospecção**, v. 13, n. 2 COVID-19, p. 494-512, 2020.

TEECE, David J. Competition, cooperation, and innovation: Organizational arrangements for regimes of rapid technological progress. **Journal of economic behavior & organization**, v. 18, n. 1, p. 1-25, 1992.

TEECE, David J. Profiting from innovation in the digital economy: Enabling technologies, standards, and licensing models in the wireless world. **Research Policy**, v. 47, n. 8, p. 1367-1387, 2018.

TENENTE, Luiza. 33% das cidades brasileiras têm no máximo 10 respiradores mecânicos; entenda por que aparelho é essencial no combate ao coronavírus. **Globo Comunicação e Participações S.A. Abr. 2020**. Disponível em: <https://g1.globo.com/>. Acesso em: 12 ago. 2020.

TIDD, John; BESSANT, Joe; PAVITT, Keith. **Gestão da inovação**. 3ed. São Paulo: Artmed, 2008.

TOLEDO, Luiz Fernando. Preço de respirador comprado por estados varia até 4 vezes e enfrenta apurações. **Cable News Network Brasil – CNN**. São Paulo, maio 2020. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/2020/05/26/preco-de-respirador-comprado-por-estados-varia-ate-4-vezes-e-enfrenta-apuracoes>. Acesso em: 12 jun. 2020.

VESCI, M.; FEOLA, R.; PARENTE, R.; RADJOU, N. How to save the world during a pandemic event. A case study of frugal innovation. **R&D Management**, p. 1-12, 2021.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso: Planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2015.

WEYRAUCH, Timo; HERSTATT, Cornelius. What is frugal innovation? Three defining criteria. **Journal of Frugal Innovation**, v.2, n.1, p.1-17 2016.

ZESCHKY, Marco; WIDENMAYER, Bastian; GASSMANN, Oliver. Frugal innovation in emerging markets. **Research-Technology Management**, v. 54, n. 4, p. 38-45, 2011.

ZESCHKY, Marco; WINTERHALTER, Stephan; GASSMANN, Oliver. From Cost to Frugal and Reverse Innovation: Mapping the field and implications for global competitiveness. **Research-Technology Management**, v. 57, n. 4, p. 20-27, 2014.

ZHANG, Xiaoqun. Frugal innovation and the digital divide: Developing an extended model of the diffusion of innovations. **International Journal of Innovation Studies**, v. 2, n. 2, p 53-64, 2018.

ZHU, Chin; QIU, Zhiy; LIU, Fengjun. Does innovation stimulate employment? Evidence from China. **Economic Modelling**. 2020.