

PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DA MANUFATURA ADITIVA NO DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS SUBMARINAS COM O AUXÍLIO DO MÉTODO DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO S.W.O.T-D.M.S.

Pedro Gall Fernandes (UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE)

pedrofernandes2@gmail.com

Oswaldo Luiz Gonçalves Quelhas (UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE)

osvaldoquelhas@id.uff.br

Daniel Augusto de Moura Pereira (UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE)

danielmoura@ufcg.edu.br

Resumo

A divulgação dos dezessete objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) pela Organização das Nações Unidas (ONU) destaca o envolvimento de países e empresas no alcance das metas associadas à sustentabilidade. Com o propósito de incentivar a aplicação dos conceitos de economia circular numa empresa multinacional da indústria de óleo e gás localizada no Brasil, este artigo possui o objetivo de identificar como a manufatura aditiva pode ser inserida no planejamento estratégico da organização no processo de desenvolvimento de ferramentas submarinas com o auxílio do método de apoio multicritério à decisão S.W.O.T-D.M.S. A metodologia de pesquisa proposta busca identificar o problema, coletar e analisar os dados, propor a solução e analisar os resultados para que os objetivos específicos a seguir sejam cumpridos: (1) identificar as contribuições da manufatura aditiva para as práticas de economia circular com o auxílio do Bibliometrix; (2) aplicar o método S.W.O.T-D.M.S para ordenar as alternativas dos segmentos de forças, oportunidades, fraquezas e ameaças com a proposta de aplicação da manufatura aditiva no planejamento estratégico da empresa analisada; e (3) analisar os resultados obtidos através do método S.W.O.T-D.M.S. A matriz SWOT gerada pelo método S.W.O.T-D.M.S. contribui para que o planejamento estratégico da empresa esteja alinhado com o relatório de sustentabilidade anual divulgado pela organização.

Palavras-Chaves: *Economia circular; impressão 3D; manufatura aditiva; método de apoio multicritério a decisão; objetivo de desenvolvimento sustentável, S.W.O.T-D.M.S.*

1. Introdução

A publicação dos dezessete objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) pela Organização das Nações Unidas (ONU) em setembro de 2015 enfatizou a importância do envolvimento dos países no alcance das metas associadas à sustentabilidade. A relevância da sustentabilidade à nível global é destacada pela *World Commission On Environment and Development* (WCED) quando define que o desenvolvimento sustentável deve atender as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades (WCED, 1987). Elkington (2004) menciona que o tripé da sustentabilidade é composto pelos valores econômicos, ambientais e sociais, logo, é importante ressaltar as responsabilidades das empresas nacionais e multinacionais no cumprimento dos ODS definidos pela ONU para que as organizações consigam inserir os conceitos de sustentabilidade nos seus processos.

Dentre os objetivos de desenvolvimento sustentáveis definidos pela ONU, este artigo destaca o ODS 12 que assegura padrões de produção e de consumo sustentáveis, ou seja, os conceitos de economia circular são essenciais para o alcance da sustentabilidade. A economia circular é um modelo econômico global que visa dissociar o crescimento econômico a partir do consumo de recursos finitos possibilitando que as empresas capturem valores adicionais de seus produtos e materiais mitigando os riscos decorrentes da volatilidade dos preços e ofertas de materiais (Ellen Foundation, 2015).

Ao associar a economia circular com os ODS, Zhuang et al (2023) destacam que a aplicação da economia circular pode cumprir vários objetivos de desenvolvimento sustentável, entretanto, a associação *World Business Council for Sustainable Development* (2019) enfatiza que somente 7,2% da economia global é circular atualmente. A baixa taxa de economia circular reportada pela WBCSD pode ser visualizada nas dificuldades das empresas em transformar o fluxo linear de produção em circular, pois o planejamento estratégico das organizações deve ser alterado para que haja a readequação dos departamentos para que as metas circulares sejam cumpridas.

Com a finalidade de incentivar a aplicação dos conceitos de economia circular numa empresa multinacional da indústria de óleo e gás localizada em Macaé, este artigo possui o objetivo de identificar como a manufatura aditiva, oriunda da indústria 4.0, pode ser inserida no planejamento estratégico da organização no processo de desenvolvimento de ferramentas submarinas com o auxílio do método de apoio multicritério à decisão S.W.O.T-D.M.S. De acordo com Pereira et al (2023), o método S.W.O.T-D.M.S. é utilizado em conjunto com a matriz SWOT para ordenar as alternativas dentro dos segmentos de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças.

É importante ressaltar que o incentivo à aplicação dos conceitos de economia circular na empresa escolhida para a análise é devido à importância que a organização dá a sustentabilidade nos relatórios anuais submetidos aos investidores. De acordo com o último relatório anual da empresa em 2022, a sustentabilidade continua a ser o foco central possibilitando progressos nas iniciativas ambientais, sociais e de governança, incluindo: as melhorias nas divulgações relacionadas ao clima, o cumprimento das regras propostas pelo *Securities and Exchange Commission* (SEC) para padronizar as divulgações sobre riscos climáticos, o desenvolvimento de tecnologias utilizando a experiência digital e robótica para ajudar os clientes a lidar com a escassez de pessoal, segurança e eficiência de custos, ao mesmo tempo em que há a mitigação das emissões de carbono.

Para que o objetivo geral seja alcançado, os objetivos específicos a seguir foram definidos: (1) identificar as contribuições da manufatura aditiva para as práticas de economia circular com o auxílio do Bibliometrix; (2) aplicar o método S.W.O.T-D.M.S para ordenar as alternativas dos segmentos de forças, oportunidades, fraquezas e ameaças com a proposta de aplicação da manufatura aditiva no planejamento estratégico da empresa analisada; e (3) analisar os resultados obtidos através do método S.W.O.T-D.M.S.

Este artigo é estruturado conforme a seguir: a seção 2 apresenta uma revisão da literatura sobre a manufatura aditiva e o método S.W.O.T-D.M.S. A seção 3 descreve a metodologia utilizada. A seção 4 apresenta a aplicação do método S.W.O.T-D.M.S. no caso escolhido. A seção 5 aborda a discussão dos resultados. As considerações finais são apresentadas na seção 6.

2. Revisão da literatura

2.1 Manufatura aditiva

A manufatura aditiva é o processo de produção de objetos em um modelo tridimensional através da união de materiais, camada por camada, diretamente de matéria-prima em pó, líquido, folha ou filamento sem a necessidade de moldes, ferramentas ou matrizes (Kellens et al., 2017). A manufatura aditiva também pode ser considerada como um grupo de técnicas de fabricação para unir materiais camada sobre camada para criar objetos a partir da impressão 3D (van Wijk & van Wijk, 2015). Outras técnicas, como a reutilização e reciclagem de componentes, podem ser adicionadas aos processos de impressão 3D para que as práticas de economia circular estejam inseridas no processo de desenvolvimento de produto de uma empresa (Nascimento et al., 2019).

Além da impressão 3D de componentes para fabricação de novos produtos, a manufatura aditiva também pode ser utilizada em reparos e remanufatura de peças, como já é feito na restauração de componentes na indústria automotiva e aeroespacial para retornar à condição original do produto (Leino et al., 2016; Saboori et al., 2019). Adicionalmente, os recursos de manufatura avançada como a customização, automação e o uso cada vez mais intenso dos dados possibilitam melhorias em diversos processos como o de otimização do volume de embalagem (Escursell et al., 2021; Giurco et al., 2014).

É importante destacar que países como a Inglaterra e França estão utilizando resíduos plásticos como insumos das impressoras 3D para gerar novos produtos, fechando o ciclo conforme as diretrizes da economia circular (Garmulewicz et al., 2018; Santander et al., 2020). Logo, devido ao aumento de artigos sobre a importância da economia circular, é possível notar o aumento da conscientização em relação à tomada de ações necessárias para alcançar o cumprimento dos objetivos de desenvolvimento sustentável (Colorado et al., 2020).

A economia circular visa melhorar radicalmente a eficiência dos recursos, eliminando o desperdício e levando ao afastamento do modelo linear, porém, não há uma garantia que somente a impressão 3D contribuirá para a sustentabilidade de uma empresa, o que torna essencial a incorporação dos princípios de economia circular no novo sistema de fabricação antes da adoção da impressão 3D (Despeisse et al., 2017). Sendo assim, é importante destacar a necessidade da aplicação dos conceitos de economia circular no design do produto para que a impressão 3D contribua para aplicação das práticas de sustentabilidade. Com o propósito de identificar o nível de conhecimento científico na inclusão da manufatura aditiva nas práticas de economia circular, foi realizada uma pesquisa bibliográfica na base de dados Scopus de acordo com a tabela 1.

Tabela 1 - Pesquisa bibliográfica na Scopus

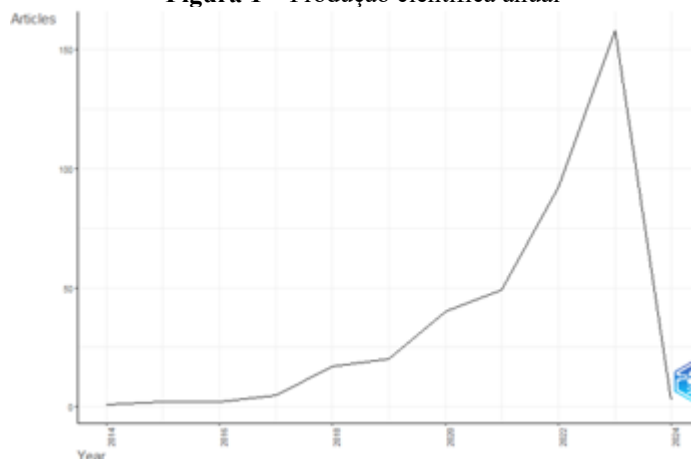
<i>Strings de busca</i>	<i>Documentos encontrados</i>	<i>Data da busca</i>
<i>"additive manufacturing"or"3D printing"and"sustainable development goals"or"circular economy"</i>	389	30/novembro/2023

Fonte: Elaboração própria

Adicionalmente à pesquisa realizada na Scopus, os dados foram importados pelo Bibliometrix, desenvolvido em linguagem de programação R para computação estatística e gráficos, com o objetivo de realizar uma pesquisa quantitativa com os resultados obtidos na Scopus. A

quantidade de publicações anuais que associam as *strings* de busca deste artigo é representada na figura 1 em que há um aumento significativo de publicações no ano de 2023, ou seja, é um tema atual que apresenta diversas pesquisas na área de manufatura aditiva como parte das práticas de economia circular.

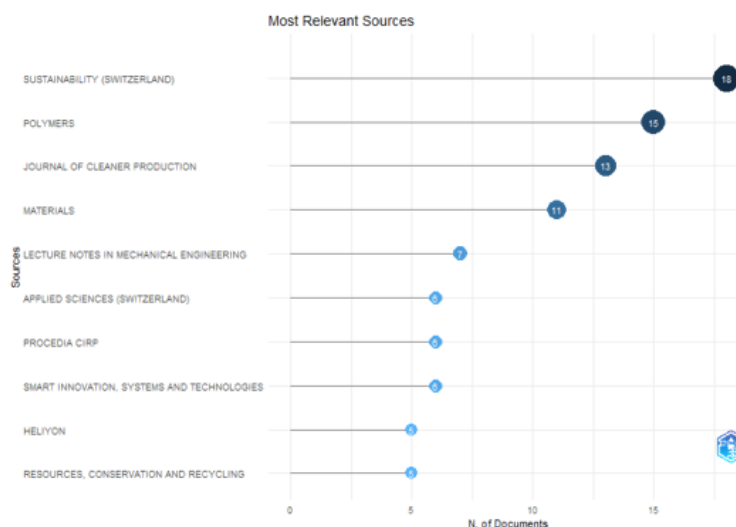
Figura 1 – Produção científica anual



Fonte: Elaboração própria com o auxílio do Bibliometrix

Diversas revistas científicas publicam sobre o tema, porém, dependendo da área de pesquisa de cada revista, a manufatura aditiva permite que o estudo possua uma ênfase no nível estratégico de uma organização, com enfoque na mudança do processo da manufatura tradicional para a aditiva voltado para sustentabilidade, ou a apresentação de estudos orientados à análise química dos componentes poliméricos utilizados como insumos desta indústria. Esta compreensão pode ser obtida através da figura 2 em que apresenta as revistas mais relevantes que abordam sobre o tema, destaque para a *Sustainability*, *Polymers* e *Journal of Cleaner Production*.

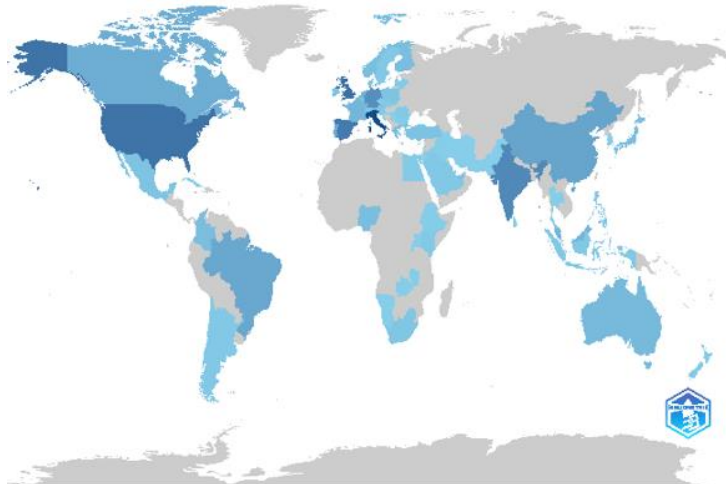
Figura 2 – Revistas mais relevantes sobre o tema



Fonte: Elaboração própria com o auxílio do Bibliometrix

Ao avaliar a quantidade de publicações por países, é possível observar que a manufatura aditiva associada à economia circular está inserida em todos os continentes, conforme destacado na figura 3.

Figura 3 – Distribuição de publicações por países



Fonte: Elaboração própria com o auxílio do Bibliometrix

Com o propósito de identificar os países que possuem mais publicações sobre o tema da pesquisa, a tabela 2 foi elaborada para destacar os 10 países com mais publicações, com destaque para o Brasil na 7ª posição.

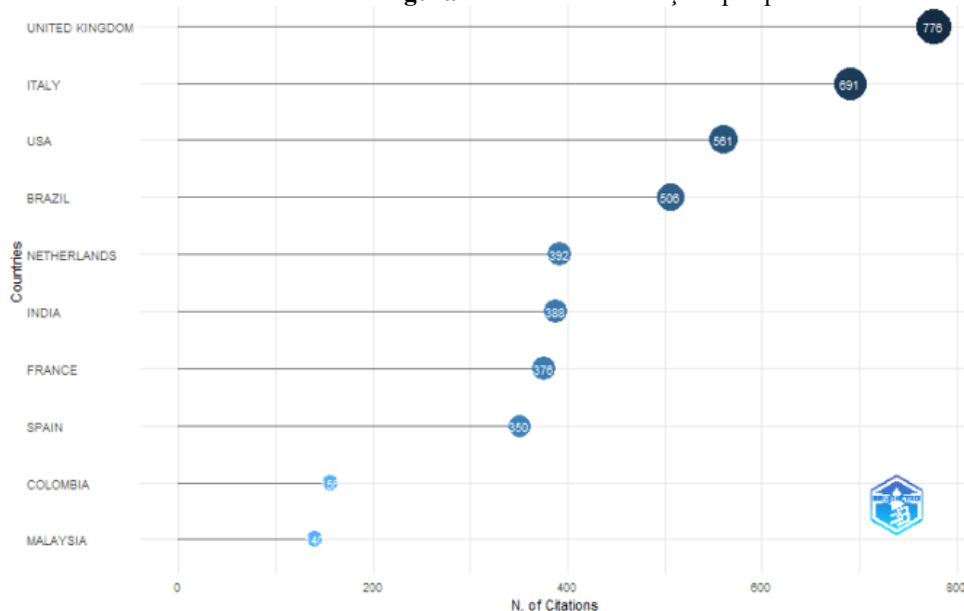
Tabela 2 – Países com mais publicações sobre o tema

Posição	Países	Quantidade de publicações
1º	Itália	195
2º	Reino Unido	139
3º	Estados Unidos	133
4º	Espanha	122
5º	Índia	100
6º	Alemanha	91
7º	China	60
8º	Brasil	55
9º	Portugal	50
10º	Canadá	46

Fonte: Elaboração própria

Entretanto, ao avaliar o impacto das publicações, nota-se que o Brasil ocupa a 4ª posição dos países com publicações mais citadas conforme apresentado na figura 4, ou seja, destaca a relevância das pesquisas publicadas no Brasil.

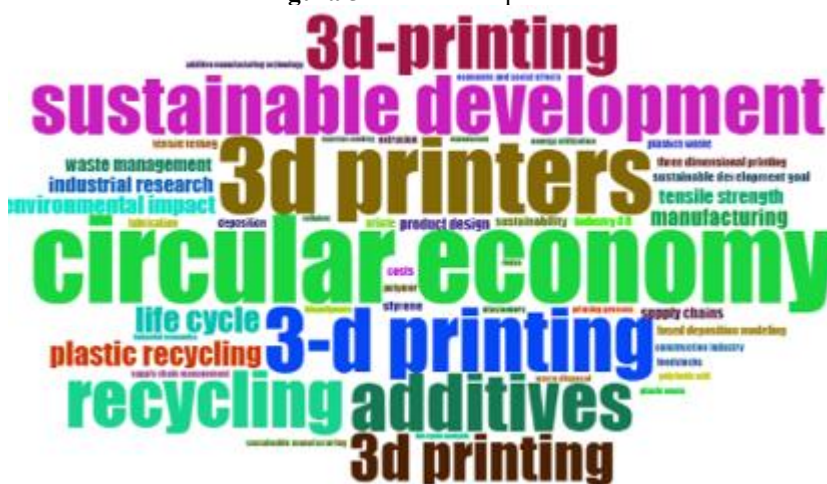
Figura 4 – Número de citações por países



Fonte: Elaboração própria com o auxílio do Bibliometrix

Na busca pela frequência das palavras utilizadas na pesquisa, o Bibliometrix apresenta a nuvem de palavras da figura 5, na qual consta a relação da impressão 3D com o desenvolvimento sustentável através das práticas de economia circular.

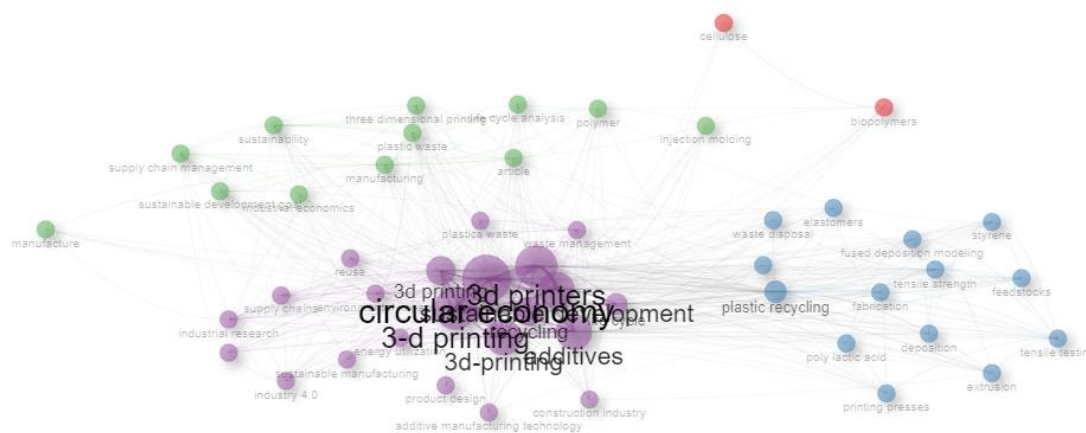
Figura 5 – Nuvem de palavras



Fonte: Elaboração própria com o auxílio do Bibliometrix

Por fim, é possível destacar a rede de palavras associando a impressão 3D como um processo que contribui para a reciclagem de plástico através de diversas técnicas para gerar um novo produto, conforme a figura 6. Cada vez mais a reciclagem de plástico está sendo inserida na impressão 3D, principalmente com técnicas com a reciclagem distribuída via aditivo à manufatura e fabricação de partículas fundidas para polímeros reciclados (Cruz Sanchez et al., 2020; Reich et al., 2019; Woern et al., 2018). Entretanto, é importante destacar que componentes metálicos também podem ser impressos e diversas indústrias estão adotando esse processo ao invés da usinagem inserida na manufatura tradicional.

Figura 6 – Rede de palavras

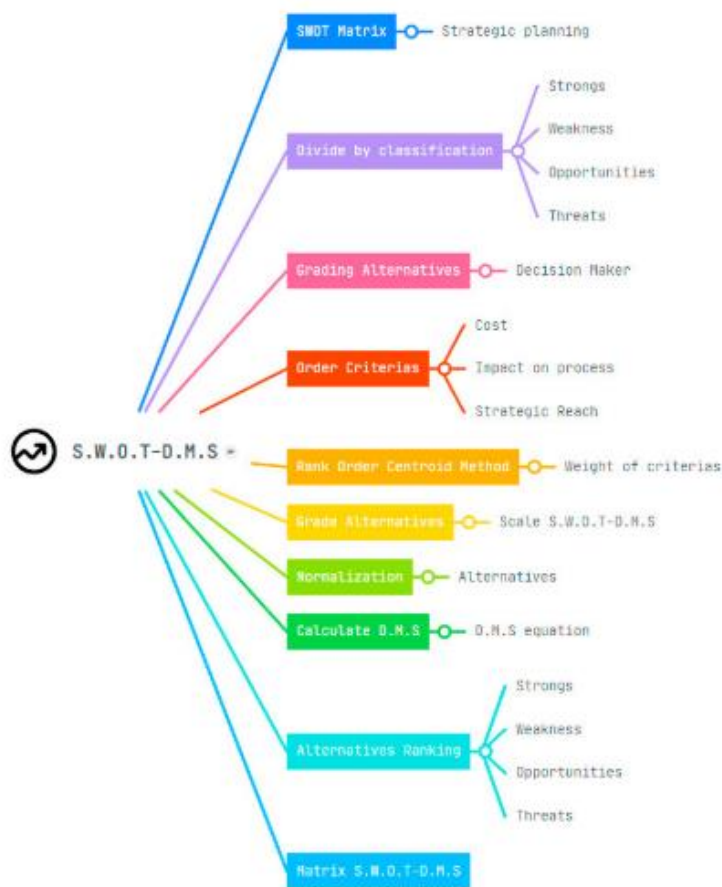


Fonte: Elaboração própria com o auxílio do Bibliometrix

2.2 S.W.O.T-D.M.S.

Pereira et al (2023) destacam que o método de apoio multicritério à decisão S.W.O.T-D.M.S. utiliza a matriz SWOT (Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças) consolidada para inserir três critérios para análise: custos, impacto no processo e escopo estratégico. A metodologia apresentada por Pereira et al (2023) é destacada na figura 7.

Figura 7 – Metodologia do S.W.O.T-D.M.S.



Fonte: Pereira et al (2023)

Os pesos são determinados para cada critério de acordo com a equação 1:

$$W_{j(Roc)} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{j} \quad \text{onde } j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Conforme determinado por Pereira et al (2023), as avaliações que o decisor atribuir às alternativas do problema devem seguir o quadro 1:

Quadro 1 – Escala S.W.O.T-D.M.S.

Escala de Aplicação	
1	Irrelevante
2	Muito fraco
3	Franco
4	Moderado
5	Considerável
6	Forte
7	Muito forte

Fonte: Pereira et al (2023)

Após a atribuição de notas às alternativas, há a necessidade de normalização conforme a equação 2 para redimensionar as variáveis para um intervalo comum entre 0 e 1 para obter valores independentes da largura da escala da medição.

$$\frac{a_{ij}}{\sum_i a_{ij}} \quad (2)$$

Após a normalização, uma nova matriz é gerada considerando os pesos P e a alternativa A, de acordo com a equação 3.

$$D.M.S. = [(A_x \times P_1) + (A_y \times P_2) + (A_n \times P_n)] \quad (3)$$

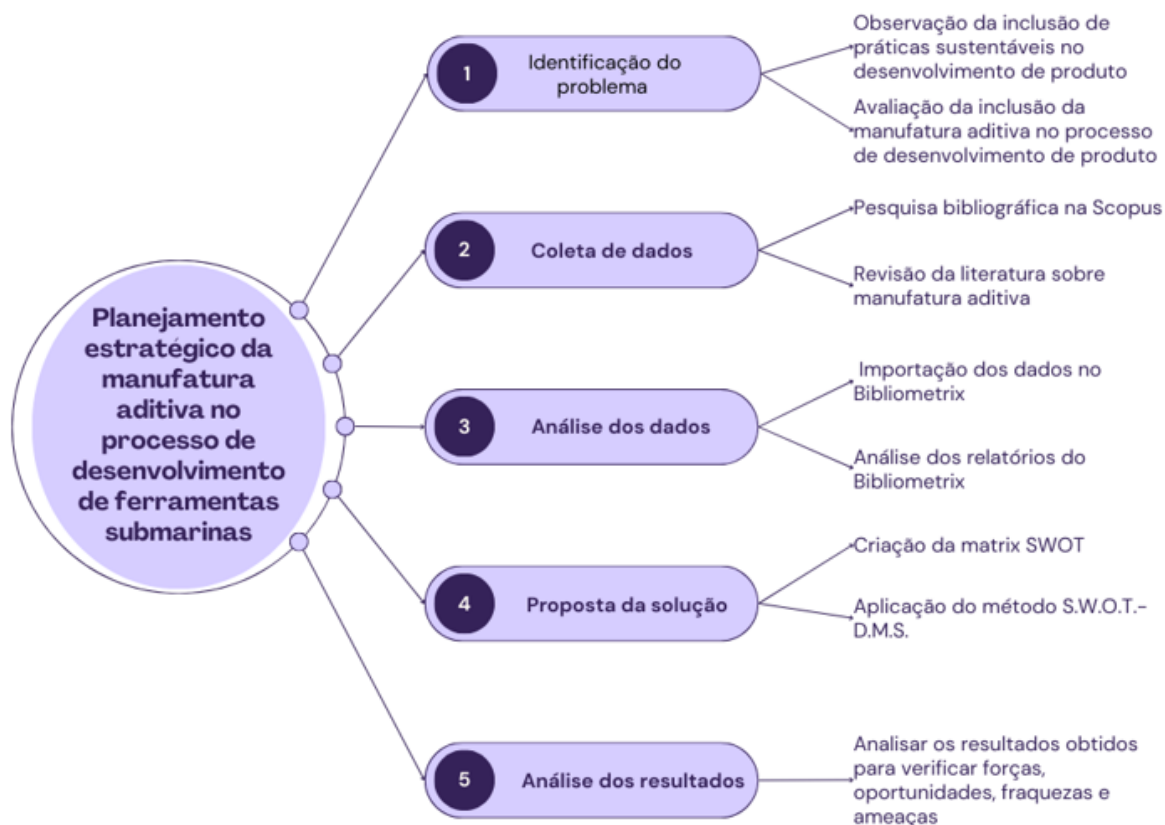
Ao final do processo, é realizado o ranking das alternativas onde a maior pontuação é a alternativa prioritária para execução, seguindo a ordenação calculada.

3. Metodologia

A metodologia proposta busca identificar o problema, coletar os dados, analisar os dados coletados, propor uma solução para o problema e por fim, analisar os resultados obtidos. A observação das práticas sustentáveis no desenvolvimento de produto auxiliou na proposta de incluir a manufatura aditiva no processo utilizado pela empresa analisada visto que, atualmente, a impressão 3D é vista como um processo essencial para que a empresa inclua as diretrizes da economia circular no processo de fabricação.

A coleta de dados foi realizada através da pesquisa bibliográfica feita na base de dados Scopus, sendo necessário avaliar os 20 artigos com o maior número de citações de acordo com o filtro realizado nesta base de estudo. Após a coleta de dados, os dados foram importados pelo Bibliometrix com o objetivo de analisar quantitativamente as publicações encontradas. Para que o planejamento estratégico seja elaborado baseado na forças, oportunidades, fraquezas e ameaças da inclusão da manufatura aditiva no processo de fabricação tradicional utilizado pela empresa analisada, houve a necessidade da criação da matriz SWOT. Em seguida, o método de apoio multicritério à decisão S.W.O.T-D.M.S. foi aplicado para estruturar a ordenação das alternativas com o objetivo de priorizar as forças, oportunidades, fraquezas e ameaças encontradas. Por fim, os resultados obtidos foram analisados para inclusão da ordenação no planejamento estratégico da organização visando a estruturação das metas da manufatura aditiva para o ano de 2024. A figura 8 apresenta a metodologia proposta neste artigo.

Figura 8 – Metodologia de pesquisa



Fonte: Elaboração própria

4. Aplicação do método S.W.O.T-D.M.S.

A necessidade de identificar o planejamento estratégico da empresa analisada para inclusão da manufatura aditiva no processo de desenvolvimento de produto é essencial para avaliar se a mudança do processo de manufatura é interessante para organização. Para que o S.W.O.T-D.M.S. seja aplicado conforme as orientações propostas por Pereira et al (2023), é fundamental que o processo de fabricação atual da empresa seja conhecido.

A empresa analisada é uma multinacional americana que atua na indústria de óleo e gás, dentre outros segmentos como a indústria aeroespacial, entretenimento, militar e energia renovável. Porém, esta pesquisa possui o enfoque na área de desenvolvimento de ferramentas submarinas utilizadas na indústria de óleo e gás na base localizada no município de Macaé, no estado do Rio de Janeiro. Os desenhos de fabricação das ferramentas desenvolvidas são elaborados pela engenharia desta empresa, entretanto, por não possuir um centro de usinagem ou soldagem interno, a estratégia do departamento de *supply chain* é possuir fornecedores capazes de fabricar os componentes desenvolvidos pela engenharia, e dependendo da decisão da estratégia de

compra, a ferramenta pode ser montada por um fornecedor ou pela própria empresa através do setor de montagem de produto.

Atualmente, o departamento de engenharia desta empresa possui uma impressora 3D que é utilizada para fabricação de alguns componentes de processo que auxiliam na montagem do produto final. Contudo, essa impressora não está associada à uma linha de produção que possa ser inserida na estratégia de fornecimento utilizada pelo departamento de *supply chain*. Adicionalmente, não existe um engenheiro dedicado para a impressão 3D, ou seja, caso seja necessário a fabricação de algum componente para auxiliar na montagem do produto final, o engenheiro do projeto é responsável por imprimir esta peça.

Como a empresa possui o enfoque no desenvolvimento de ferramentas submarinas altamente customizadas que buscam resolver um problema específico de um cliente, ou seja, não existe a necessidade de produção em massa de peças, a organização está avaliando a estratégia de desenvolver um centro de manufatura aditiva na qual há a possibilidade da compra de outros modelos de impressora 3D para impressão de peças plásticas ou metálicas. Atualmente, a impressora utilizada pelo departamento de engenharia somente permite a impressão de componentes poliméricos.

Para facilitar a aplicação do método S.W.O.T-D.M.S, Pereira et al (2023) propõe a utilização de um modelo em *Visual Basic Applications* (VBA) como modelo de entrada e saída de dados no Microsoft Excel. O primeiro passo, no modelo apresentado, é a geração da matriz SWOT conforme apresentado na figura 9.

Figura 9 – Matriz SWOT

FORÇAS	FRAQUEZAS
Redução do desperdício	Limitação financeira para investimentos elevados
Opções de personalização de produtos	Limitação física para instalação do centro de manufatura aditiva
Rapidez na prototipagem	Escalabilidade limitada na integração com o planejamento de materiais
Rapidez na entrega final do produto	Número reduzido de profissionais com conhecimento em impressão 3D
OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
Crescente demanda para produtos customizados	Violação de propriedade intelectual
Flexibilidade para inovar	Obsolescência de tecnologia
Crescimento do desenvolvimento sustentável	Preocupações regulatórias e de segurança
Referência no atendimento aos objetivos de desenvolvimento sustentável	Interrupção da cadeia de suprimentos

Fonte: Elaboração própria

O segundo passo é a elaboração da matriz de decisão das forças definidas na SWOT, conforme destacado na figura 10.

Figura 10 – Matriz de decisão das forças

MATRIZ DE DECISÃO						MATRIZ NORMALIZADA			PONTUAÇÃO FINAL	
CÓDIGO	FORÇAS	CUSTO	IMPACTO NO PROCESSO	ALCANCE ESTRATÉGICO	Σ Peso Ponderado	CUSTO	IMPACTO NO PROCESSO	ALCANCE ESTRATÉGICO	D.M.S	RANKING
	Ordenação	2	3	1						
	Peso Ponderado	0,28	0,11	0,61	1					
F1	Redução do desperdício	7	5	4		0,33	0,23	0,21	0,25	3
F2	Opções de personalização de produtos	6	4	5		0,29	0,18	0,26	0,26	2
F3	Rapidez na prototipagem	5	7	3		0,24	0,32	0,16	0,20	4
F4	Rapidez na entrega final do produto	3	6	7		0,14	0,27	0,37	0,30	1

Fonte: Elaboração própria

Em seguida, o terceiro passo é a estruturação da matriz de decisão das fraquezas conforme apresentado na figura 11.

Figura 11 – Matriz de decisão das fraquezas

MATRIZ DE DECISÃO						MATRIZ NORMALIZADA			PONTUAÇÃO FINAL	
CÓDIGO	FRAQUEZAS	CUSTO	IMPACTO NO PROCESSO	ALCANCE ESTRATÉGICO	Σ Peso Ponderado	CUSTO	IMPACTO NO PROCESSO	ALCANCE ESTRATÉGICO	D.M.S	RANKING
	Ordenação	2	3	1						
	Peso Ponderado	0,28	0,11	0,61	1					
FR1	Limitação financeira para investimentos elevados	7	1	6		0,58	0,05	0,30	0,35	1
FR2	Limitação física para instalação do centro de manufatura aditiva	3	7	4		0,25	0,32	0,20	0,23	3
FR3	Escalabilidade limitada na integração com o planejamento de materiais	1	7	6		0,08	0,32	0,30	0,24	2
FR4	Número reduzido de profissionais com conhecimento em impressão 3D	1	7	4		0,08	0,32	0,20	0,18	4

Fonte: Elaboração própria

O quarto passo é a elaboração da matriz de decisão para as oportunidades conforme a figura 12.

Figura 12 – Matriz de decisão das oportunidades

MATRIZ DE DECISÃO						MATRIZ NORMALIZADA			PONTUAÇÃO FINAL	
CÓDIGO	OPORTUNIDADES	CUSTO	IMPACTO NO PROCESSO	ALCANCE ESTRATÉGICO	Σ Peso Ponderado	CUSTO	IMPACTO NO PROCESSO	ALCANCE ESTRATÉGICO	D.M.S	RANKING
	Ordenação	3	2	1						
	Peso Ponderado	0,11	0,28	0,61	1					
O1	Crescente demanda para produtos customizados	4	6	7		0,33	0,23	0,25	0,25	2
O2	Flexibilidade para inovar	1	7	7		0,08	0,27	0,25	0,24	3
O3	Crescimento do desenvolvimento sustentável	6	7	7		0,50	0,27	0,25	0,28	1
O4	Referência no atendimento aos objetivos de desenvolvimento sustentável	1	6	7		0,08	0,23	0,25	0,23	4

Fonte: Elaboração própria

O quinto passo é a elaboração da matriz de decisão para as ameaças conforme a figura 13.

Figura 13 – Matriz de decisão das ameaças

MATRIZ DE DECISÃO						MATRIZ NORMALIZADA			PONTUAÇÃO FINAL	
CÓDIGO	AMEAÇAS	CUSTO	IMPACTO NO PROCESSO	ALCANCE ESTRATÉGICO	Peso Ponderado	CUSTO	IMPACTO NO PROCESSO	ALCANCE ESTRATÉGICO	D.M.S	RANKING
	Ordenação	2	3	1						
	Peso Ponderado	0,28	0,11	0,61	1					
A1	Violação de propriedade intelectual	1	7	7		0,06	0,27	0,37	0,27	1
A2	Obsolescência de tecnologia	6	5	4		0,33	0,19	0,21	0,24	3
A3	Preocupações regulatórias e de segurança	4	7	5		0,22	0,27	0,26	0,25	2
A4	Interrupção da cadeia de suprimentos	7	7	3		0,39	0,27	0,16	0,23	4

Fonte: Elaboração própria

O sexto e último passo é a geração da matriz S.W.O.T-D.M.S. de acordo com o ranking das alternativas propostas para forças, fraquezas, oportunidades e ameaças conforme apresentado na figura 14.

Figura 14 – Matriz S.W.O.T-D.M.S ordenada

MATRIZ SWOT-D.M.S ORDENADA			
FORÇAS	FRAQUEZAS	OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
Rapidez na entrega final do produto	Limitação financeira para investimentos elevados	Crescimento do desenvolvimento sustentável	Violação de propriedade intelectual
Opções de personalização de produtos	Escalabilidade limitada na integração com o planejamento de materiais	Crescente demanda para produtos customizados	Preocupações regulatórias e de segurança
Redução do desperdício	Limitação física para instalação do centro de manufatura aditiva	Flexibilidade para inovar	Obsolescência de tecnologia
Rapidez na prototipagem	Número reduzido de profissionais com conhecimento em impressão 3D	Referência no atendimento aos objetivos de desenvolvimento sustentável	Interrupção da cadeia de suprimentos

Fonte: Elaboração própria

5. Discussão dos resultados

A aplicação do método de apoio multicritério à decisão S.W.O.T-D.M.S. gerou uma nova matriz ordenada na qual os resultados foram avaliados de acordo com as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças a nível estratégico da organização.

5.1 Forças

A ordenação feita propõe que a rapidez na entrega final do produto é o destaque nas forças identificadas com a aplicação da manufatura aditiva. Apesar do nível de importância das outras forças como a geração de opções de personalização de produtos, redução do desperdício e rapidez na prototipagem, o diferencial da empresa em relação aos concorrentes com a inclusão da manufatura aditiva possibilita que uma ferramenta submarina customizada possa ser entregue o mais breve possível para o cliente.

5.2 Fraquezas

A limitação financeira para investimentos elevados identificada como a fraqueza com mais destaque na ordenação dificulta a empresa na compra de impressoras 3D com custos elevados. Como a empresa possui outras áreas para realizar um aporte financeiro, há a necessidade de avaliar o retorno do investimento com o desenvolvimento do centro de manufatura aditiva. Ao avaliar as outras fraquezas, como a escalabilidade limitada na integração com o planejamento de materiais, limitação física para instalação do centro de manufatura aditiva e o número reduzido de profissionais com conhecimento em impressão 3D, é importante destacar que a empresa já possui um fluxo de processos com os fornecedores atuais para fabricação tradicional dos componentes desenvolvidos pela engenharia, logo, a inclusão da manufatura aditiva requer uma estruturação da cadeia de suprimentos para que determinados componentes possam ser fabricados internamente pela empresa.

5.3 Oportunidades

A aplicação do método S.W.O.T-D.M.S. destacou a importância do crescimento do desenvolvimento sustentável como oportunidade, sendo que o relatório anual de sustentabilidade submetido pela empresa analisada em 2022 já tinha enfatizado a necessidade de que o desenvolvimento sustentável era o foco central. Adicionalmente, é importante destacar as vantagens do centro de manufatura aditiva como a crescente demanda de produtos customizados, a flexibilidade na inovação e estruturação da imagem da companhia como referência no atendimento aos objetivos de desenvolvimento sustentável.

5.4 Ameaças

A possibilidade de inserir a engenharia reversa das peças através da impressão 3D pode apresentar riscos de violação da propriedade intelectual se, por exemplo, algum produto tiver uma patente associada. Também é possível destacar as preocupações regulatórias, como o atendimento às normas da indústria de óleo e gás, e as preocupações de segurança, principalmente quanto ao tipo de insumo utilizado na impressora 3D. A obsolescência da tecnologia e a interrupção da cadeia de suprimentos como a falta de filamentos na indústria, também são representadas como ameaças ao planejamento estratégico da inclusão da impressão 3D na manufatura da empresa analisada.

6. Considerações finais

A apresentação da matriz SWOT com a ordenação proposta pelo método S.W.O.T-D.M.S. contribuiu para que o objetivo de identificar como a manufatura aditiva pode ser inserida no planejamento estratégico de uma empresa que pretende aplicar as práticas sustentáveis no desenvolvimento de ferramentas submarinas. Para que o objetivo geral seja alcançado, este propôs os seguintes objetivos específicos: : (1) identificar as contribuições da manufatura aditiva para as práticas de economia circular com o auxílio do Bibliometrix; (2) Aplicar o método S.W.O.T-D.M.S para ordenar as alternativas dos segmentos forças, oportunidades, fraquezas e ameaças com a proposta de aplicação da manufatura aditiva no planejamento estratégico da empresa analisada; e (3) analisar os resultados obtidos através do método S.W.O.T-D.M.S.

A identificação das práticas da economia circular associadas à implementação da manufatura aditiva foi feita através da pesquisa bibliográfica feita na Scopus, com o auxílio do Bibliometrix para geração dos relatórios sobre o tema. O método S.W.O.T-D.M.S. contribuiu para que a ordenação da matriz S.W.O.T. auxiliasse o decisor a priorizar as forças, oportunidades, fraquezas e ameaças inicialmente propostas na matriz SWOT. Por fim, o detalhamento da matriz SWOT gerada foi fundamental para o alinhamento estratégico da companhia para atingir as práticas de sustentabilidade propostas no relatório anual de sustentabilidade divulgado.

É importante destacar que a matriz SWOT foi proposta pelo gerente de engenharia da organização que possui as atribuições de decisor no processo de desenvolvimento de produto realizado pela empresa. Além da escolha pela manufatura aditiva para incluir as práticas de sustentabilidade na equipe de engenharia, é necessário que a equipe de engenheiros e projetistas tenham a conscientização sobre projetos circulares que permitam incluir a circularidade de

componentes no design das ferramentas submarinas desenvolvidas. A estruturação de ações para mitigar os riscos encontrados nas fraquezas e ameaças pode se tornar um tema para pesquisas futuras com o objetivo de diminuir o impacto no planejamento estratégico divulgado pela empresa.

REFERÊNCIAS

Colorado, H. A., Velásquez, E. I. G., & Monteiro, S. N. (2020). **Sustainability of additive manufacturing: the circular economy of materials and environmental perspectives**. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4), 8221–8234.

Cruz Sanchez, F. A., Boudaoud, H., Camargo, M., & Pearce, J. M. (2020). **Plastic recycling in additive manufacturing: A systematic literature review and opportunities for the circular economy**. *Journal of Cleaner Production* (Vol. 264). Elsevier Ltd.

de Moura Pereira, D. A., Diniz, B. P., Araújo, G. N., Araújo, A. C., de Siqueira Silva, M. J., Neto, J. C., Araújo, J. M. B., Tomaz, P. P. M., & dos Santos, M. (2023). **Development of strategic planning of a financial education company in Brazil: an approach based on the new Multicriteria Decision Analysis Method S.W.O.T-D.M.S.** *Procedia Computer Science*, 221, 681–688.

Despeisse, M., Baumers, M., Brown, P., Charnley, F., Ford, S. J., Garmulewicz, A., Knowles, S., Minshall, T. H. W., Mortara, L., Reed-Tsochas, F. P., & Rowley, J. (2017). **Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda**. *Technological Forecasting and Social Change*, 115, 75–84.

Elkington, J. (2004). **Enter the triple bottom line**. *The Triple Bottom Line: Does It All Add Up*, 1, 1–16.

Escursell, S., Llorach-Massana, P., & Roncero, M. B. (2021). **Sustainability in e-commerce packaging: A review**. *Journal of Cleaner Production* (Vol. 280). Elsevier Ltd.

Foundation, E. M. (2015). **An Approach to Measuring Circularity. Circular Indicators: An Approach to Measuring Circularity**. *Methodology*, 23(1), 159–161.

Garmulewicz, A., Holweg, M., Veldhuis, H., & Yang, A. (2018). **Disruptive Technology as an Enabler of the Circular Economy: What Potential Does 3D Printing Hold?** *California Management Review*, 60(3), 112–132.

Giurco, D., Littleboy, A., Boyle, T., Fyfe, J., & White, S. (2014). **Circular economy: Questions for responsible minerals, additive manufacturing and recycling of metals**. *Resources*, 3(2), 432–453.

Kellens, K., Baumers, M., Gutowski, T. G., Flanagan, W., Lifset, R., & Duflou, J. R. (2017). **Environmental Dimensions of Additive Manufacturing: Mapping Application Domains and Their Environmental Implications**. *Journal of Industrial Ecology*, 21, S49–S68.

Leino, M., Pekkarinen, J., & Soukka, R. (2016). **The role of laser additive manufacturing methods of metals in repair, refurbishment and remanufacturing - Enabling circular economy**. *Physics Procedia*, 83, 752–760.

Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Lona, L. R., & Tortorella, G. (2019). **Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal**. *Journal of Manufacturing Technology Management* (Vol. 30, Issue 3, pp. 607–627). Emerald Group Holdings Ltd.

Reich, M. J., Woern, A. L., Tanikella, N. G., & Pearce, J. M. (2019). **Mechanical properties and applications of recycled polycarbonate particle material extrusion-based additive manufacturing**. *Materials*, 12(10).

Saboori, A., Aversa, A., Marchese, G., Biamino, S., Lombardi, M., & Fino, P. (2019). **Application of directed energy deposition-based additive manufacturing in repair**. *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 9, Issue 16). MDPI AG.



Santander, P., Cruz Sanchez, F. A., Boudaoud, H., & Camargo, M. (2020). **Closed loop supply chain network for local and distributed plastic recycling for 3D printing: a MILP-based optimization approach**. Resources, Conservation and Recycling, 154.

van Wijk, A., & van Wijk, I. (2015). **3D printing with biomaterials: Towards a sustainable and circular economy**. 3D Printing with Biomaterials: Towards a Sustainable and Circular Economy. IOS Press.

WBCSD. (2019). **Circular Transition Indicators: Proposed metrics for business**, by business. Wbcsd, July, 1–39.

Woern, A. L., Byard, D. J., Oakley, R. B., Fiedler, M. J., Snabes, S. L., & Pearce, J. M. (2018). **Fused particle fabrication 3-D printing: Recycled materials’ optimization and mechanical properties**. Materials, 11(8).

World Commission On Environment And Development. (1987). **World Commission On Environment And Development, Our Common Future**. World Commission on Environment and Development, 17, 1–91.

Zhuang, G.-L., Shih, S.-G., & Wagiri, F. (2023). **Circular economy and sustainable development goals: Exploring the potentials of reusable modular components in circular economy business model**. Journal of Cleaner Production, 414.