

Análise de cenários prospectivos: um estudo sobre a manufatura aditiva no Brasil em 2024

Diego Vinicius Betim
betimdiego@gmail.com
UFF

Luiz Frederico Horácio de S. de B. Teixeira
frederico.horacio@gmail.com
CASNAV / UFF

Carlos Francisco Simões Gomes
cfsg1@bol.com.br
UFF

Oswaldo Luiz Gonçalves Quelhas
osvaldoquelhas@id.uff.br
LATEC / UFF

Marcos dos Santos
marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br
CASNAV / IME

Resumo: O presente artigo tem como propósito utilizar técnicas de prospecção de cenários com ênfase à manufatura aditiva no Brasil, visando uma análise comparativa frente ao cenário internacional. A motivação desta pesquisa está relacionada ao crescente mercado desta tecnologia, somado à lacuna de estudos nesta área. O método utilizado para a prospecção de cenários foi o Momentum e todo o levantamento de dados, variáveis e indicadores utilizados no sistema foi realizado através de uma revisão da literatura e consulta a uma empresa do ramo. Desta forma, os resultados obtidos foram resumidos em três cenários possíveis, “Crescendo com Sustentabilidade” (tendencial), “Imprimindo o Mundo” (otimista) e “Falha na Impressão” (pessimista), destacando-se as oportunidades em cada cenários, bem como suas limitações e fraquezas. Algumas limitações referentes a dados quantitativos e a falta de avaliações qualitativas com especialistas da área foram decorrentes no estudo, gerando algumas lacunas que podem ser exploradas com pesquisas futuras. Ainda assim, a aplicação do método Momentum se mostrou positiva em relação ao mercado brasileiro, destacando a originalidade deste trabalho e sua importância para outros estudos de base.

Palavras Chave: Cenário Prospectivo - Manufatura Aditiva - Momentum - Impressão 3D - Sustentabilidade

1. INTRODUÇÃO

Com o crescente avanço tecnológico, somado ao surgimento de novas tecnologias, novas oportunidades de negócio e sistemas produtivos emergem no mercado global a cada dia, afetando a distribuição da produção e o fluxo subsequente de materiais e bens de consumo através de benefícios potencialmente sustentáveis (GEBLER *et al.*, 2014). Dentre estas tecnologias, destaca-se a manufatura aditiva (*Additive Manufacturing - AM*), também denominada impressão 3D, que tem atraído grande interesse como uma componente chave para futuro da manufatura. (DELOITTE, 2015) A Figura 1 ilustra o valor crescente de mercado mundial do setor de Manufatura Aditiva.

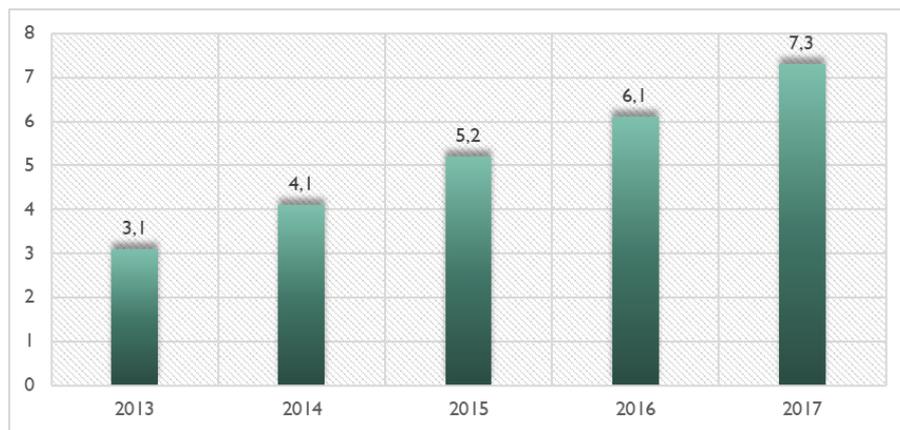


Figura 1: Valor de mercado da indústria AM (em bilhões)

Fonte: Wohlers Associates (2018)

O mercado brasileiro representa apenas 2% do total de negócios mundial, mas vem ganhando força nos últimos anos. Grandes empresas estão começando a utilizar a impressão 3D não só no desenvolvimento da prototipagem rápida, mas também na fabricação de peças de produto final. (ÉPOCA, 2017)

Ainda que esta ascendência tem demonstrado um avanço significativo no cenário nacional, o Brasil ainda não apresenta uma representatividade forte diante do mercado global, conforme indica o levantamento estatístico da Statista (2018), na Figura 2:

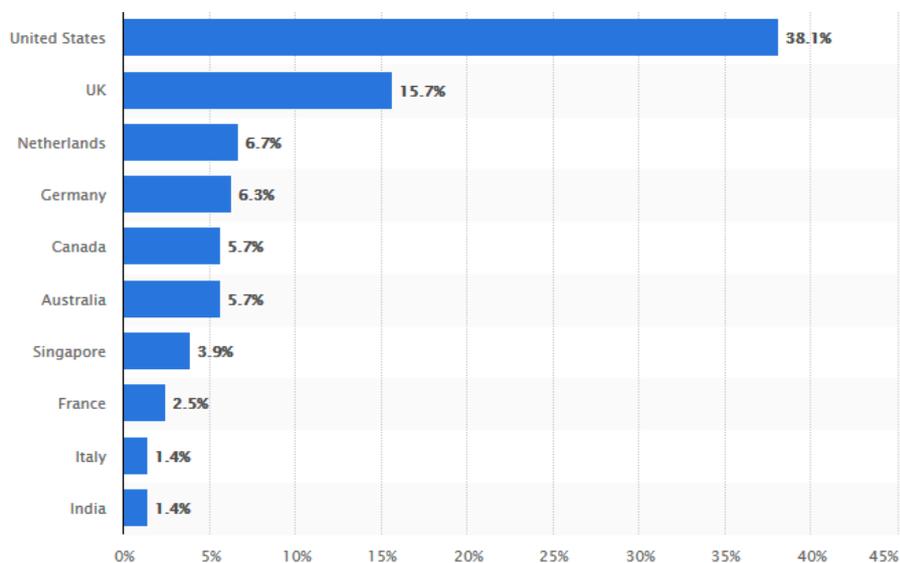


Figura 2: Participação no mercado mundial de impressão 3D, a partir de julho de 2018, por país

Fonte: Statista (2018)

Desta forma, é fundamental que se utilizem métodos para o desenvolvimento da prospecção de cenários futuros confiáveis, objetivando uma melhor compreensão das oportunidades e ameaças da manufatura aditiva, bem como o impacto de suas incertezas sobre o mercado brasileiro, uma vez que estudos acadêmicos dedicados neste campo permanecem escassos.

A originalidade deste estudo é apresentada na aplicação da metodologia Momentum a uma tecnologia emergente no cenário brasileiro, em paralelo ao cenário internacional. Assim, destacamos como foco principal deste artigo os seguintes objetivos: (i) analisar o crescimento da manufatura aditiva no Brasil, equiparado ao crescimento global; (ii) identificar as barreiras e oportunidades locais para a ascendência da tecnologia, (iii) propor novas pesquisas a partir das lacunas identificadas neste estudo.

Este trabalho apresenta a seguinte estrutura: na Seção 2, é apresentada um referencial teórico com base na revisão da literatura sobre manufatura aditiva (2.1) e o desenvolvimento de cenários prospectivos (2.2). A Seção 3 apresenta as etapas da metodologia da pesquisa, incluindo uma breve visão geral das análises SWOT e PESTEL. A seção 4 apresenta os resultados obtidos e a definição dos cenários. Na Seção 5 é realizada uma discussão sobre as principais observações em cada cenários, bem como um comparativo paralelo ao cenário internacional. Por fim, na Seção 6 são apresentadas novas propostas de pesquisas e lacunas encontradas ao longo do artigo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. MANUFATURA ADITIVA

Definida como um “Processo de unir materiais para a produção de objetos a partir de dados de um modelo 3D, geralmente mediante o empilhamento camada sobre camada, ao contrário de metodologias de fabricação subtrativa” (ASTM, 2015), e considerada uma tecnologia disruptiva, com potencial para desenvolver novos modelos de negócios, produtos e cadeias de suprimentos (ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2013), a manufatura aditiva vem apresentando um crescimento exponencial no mercado global, conforme indica o relatório apresentado pela Wohlers Associates (2018).

Esse crescimento se deve majoritariamente às vantagens competitivas apresentadas em termos de liberdade de design, customização em massa, co-criação e inovação modelos de negócios (FORD; DESPEISSE, 2016). Assim, como mostra o relatório da Sculpteo (2017), a impressão 3D é utilizada principalmente para acelerar o desenvolvimento de produto (28%), oferecer produtos personalizados (16%) e aumentar a flexibilidade de produção (13%). Além disso, a prototipagem (34%) e o conceito de prova (23%) ainda são os principais usos citados pelos entrevistados.

Holmström *et al.* (2010) sugere que os principais benefícios são decorrentes de características únicas da AM, como por exemplo: ausência de ferramental, reduzindo significativamente o tempo de fabricação e as despesas da produção com o desperdício, uma vez que o processo camada a camada reduz drasticamente qualquer material sobressalente ao processo; pequenos lotes de produção e cadeias de suprimento mais simples são viáveis e econômicas, reduzindo conseqüentemente os prazos de entrega; possibilidade de mudança rápida no design e personalização do projeto, permitindo assim que o produto seja otimizado para a função.

Embora os primeiros estudos indiquem que a manufatura aditiva seja uma promessa substancial para a sustentabilidade e a criação de um sistema circular, ainda existe uma grande

incerteza se a tecnologia está criando fluxos de materiais mais circulares ou está apenas levando para um cenário alternativo que apresenta uma produção menos eficiente, altas demandas por produtos customizados e uma maior taxa de obsolescência de produtos, aumentando assim o consumo de recursos. (DESPEISSE *et al.*, 2017)

2.2. CENÁRIOS PROSPECTIVOS

O estudo de cenários prospectivos tem obtido um avanço significativo, permitindo vantagens e conhecimentos relevantes àqueles que o estão utilizando. Cenários não são predições sobre o que irá ocorrer, mas descrições, com sustentação em hipóteses plausíveis, do que poderá suceder dentro de um contexto estudado. (GOMES; GOMES, 2019)

O objetivo de qualquer trabalho prospectivo, portanto, não é prever o futuro, mas sim produzir visões extremas do que poderia ser, se algumas das tendências atuais fossem levadas aos seus limites lógicos. Nesse sentido, os cenários produzidos não devem ser considerados como previsões ou prescrições. (BILLEN; NOE; GARNIER, 2018).

O cenarista, na elaboração de cenários, deve considerar o conjunto de forças que atuam sobre o processo em análise no universo temporal em questão, certificando-se dos fatores político-econômicos, inclinações socioculturais, desenvolvimento tecnológico, influência ambiental e pressupostos legais que subjazem às técnicas prospectivas.

Uma vantagem do estudo de cenários prospectivos em relação a outros processos extrapolativos é que, enquanto estes indicam somente “um palpite” do futuro, normalmente com base no estudo de dados anteriores e ações já transcorridas, aqueles apresentam ao decisor, um conjunto de alternativas, fundamentadas nas tendências recentes e na dimensão de acontecimentos variáveis com os quais a instituição necessita tratar. (GOMES, COSTA; BARROS, 2017; GOMES; GOMES, 2019).

Segundo Oliveira *et al.* (2018), atualmente, as áreas de ciência ambiental e energia limpa são as mais contempladas com estudos prospectivos na academia, revelando a tendência de preocupação com o meio ambiente.

Estudar a aplicação de cenários prospectivos para avaliar possíveis impactos no meio ambiente, bem como o uso de tecnologias mais limpas, portanto, permite às sociedades reduzir a incerteza futura, explorando diversas estratégias de mudança em prol da sustentabilidade. (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

No meio acadêmico não existe um método único para o desenvolvimento de cenários, mas um número infinito de métodos que permitem sua construção, sendo alguns mais simples e outros mais elaborados (GODET, 2000). Não obstante, Oliveira *et al.* (2018) afirmam que existe um consenso na academia de que o método de cenários só deve ser aplicado em uma abordagem que contenha uma série de análises de sistemas de etapas inter-relacionadas específicas, análises retrospectivas, estratégias de atores e desenvolvimento de cenários. Neste estudo, os autores optaram pelo uso da técnica de prospecção de cenários conhecida por Momentum.

Segundo Gomes, Costa e Barros (2017), Momentum é um método que integra a concepção dos principais métodos prospectivos da literatura e está estruturado em sete etapas:

(1^a) entendimento ou visão geral do sistema ou negócio selecionado, determinando suas entradas, resultados, missão e visão de futuro, quando aplicável;

(2^a) mapeamento de atores relevantes e suas respectivas influências ou áreas de influência, identificação das variáveis, selecionando as forças e fraquezas internas e as

variáveis externas (ameaças e oportunidades) - do sistema em estudo, realizar uma análise SWOT;

- (3ª) avaliações de incertezas e seus respectivos fatores casuais;
- (4ª) seleção de variáveis relevantes;
- (5ª) elaboração de retrospectivas, ou análise histórica, para definir configuração de variáveis e atribuir suas respectivas probabilidades de ocorrências;
- (6ª) definir indicadores-chave e realizar sua análise retrospectiva; e
- (7ª) construção de cenários, buscando o desejável – ou mais desejável - um e outro cenários que são pertinentes.

De acordo com Oliveira *et al.* (2018), a maioria dos estudos prospectivos na academia contempla três cenários possíveis. Destarte, os autores decidiram seguir esta mesma prática e adotar um cenário de tendência, um cenário otimista e, finalmente, outro cenário pessimista.

3. METODOLOGIA

3.1. DESENVOLVIMENTO DOS CENÁRIOS

3.1.1. INCERTEZAS DO SETOR

Os autores Moritz *et al.* (2010) concluíram que, para a construção de cenários futuros mais precisos, num contexto de planejamento organizacional, é importante definir as incertezas do ambiente. Oliveira *et al.* (2018), Assis *et al.* (2017), Gomes, Costa e Barros (2017), Gomes e Gomes (2019) também destacam a incerteza como elemento fundamental para a utilização das ferramentas de cenários prospectivos. Considerando a importância deste fator, foram definidas as principais incertezas que podem afetar o setor da manufatura aditiva.

3.1.2. ANÁLISE PESTEL E DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

No presente artigo, os autores optaram por incluir, ainda, adicionalmente à análise SWAT, uma análise PESTEL (Figura 3) por ocasião das avaliações de incertezas e definição das variáveis. Um dos motivos da escolha do método Momentum foi justamente a sua flexibilidade e amplitude, que lhe permite ser desenvolvido em conjunto com outras técnicas adicionais que eventualmente os autores considerem adicionar mais robustez ao caso específico em estudo.



Figura 3: Variáveis da Análise P.E.S.T.E.L.

Fonte: Adaptado de <https://www.slidesalad.com/product/pestel-analysis-diagrams-google-slides-presentation-template/>

Com base na análise PESTEL acima, cada incerteza foi desdobrada em variáveis, visando a criação de um panorama quantitativo para o setor da manufatura aditiva. Foram separadas as seguintes variáveis (Tabela 1):

Tabela 1: Incertezas e variáveis selecionadas

Incerteza	Nº	Variável
Econômicas	1	Taxa do Dólar
	2	Inflação
	3	Tributos de comércio exterior / imposto de importação
	4	Tributo de operações financeiras
Ambiental	5	Gestão de Resíduos e Riscos Ambientais
	6	Leis e normas ambientais
Políticas	7	Incentivos fiscais – redução do IPI (imposto sobre produto industrializado)
	8	Investimento em combate às falsificações
	9	Investimento em educação profissionalizante / profissionais com conhecimento técnico
Produção	10	Preço da Matéria Prima - Plástico (kg)
	11	Preço dos Equipamentos / Impressoras
	12	Custo do Projeto
	13	Flexibilidade do Design
	14	Qualidade
Logística	15	<i>Takt time</i> e Logística Interna
	16	Gestão da Cadeia de Suprimentos
Consumo	17	Renda média das famílias
	18	Demanda mercado global
Regulamentação	19	Legislação da indústria / Patentes
Tecnológica	20	Capacidade de Segurança dos Dados
	21	Surgimentos de outras tecnologias emergentes

3.1.3. ANÁLISE DA MATRIZ SWOT

Observando-se os aspectos inerentes à tecnologia e fatores que a permeiam neste ambiente em expansão, foi realizado um estudo do contexto no qual as empresas estão inseridas, expresso, conforme Tabela 2, por meio de uma matriz SWOT/FOFA da organização:

Tabela 2. Análise S.W.O.T.

FORÇAS (S)	FRAQUEZAS (W)
Oferece produto mais sustentável	Demora de retorno do investimento.
Capacidade de expansão	Limitações de Software
Cadeia de Suprimentos Enxuta	Segurança de Dados
Custo de Complexidade	Falta de Mão de obra qualificada / conhecimento técnico
Design Flexível	
OPORTUNIDADES (O)	AMEAÇAS (T)
Mercado em expansão	Surgimento de novas tecnologias emergentes
Poucos concorrentes	Patentes / Propriedade Intelectual
Políticas econômicas favoráveis	Custo de Matéria-Prima e Equipamentos
Demanda global	Alta Tributação

3.1.4. DEFINIÇÃO DOS ATORES

No mercado da Manufatura Aditiva há diferentes atores que, de forma constante ou momentânea e indireta ou diretamente, impactam o setor.

- Forma constante e indiretamente:

Exemplo: Poder executivo federal – influenciam no custo do projeto, mediante as suas políticas econômicas, que podem impactar relações comerciais e o câmbio.

- Forma constante e diretamente:

Exemplo: Cliente – influenciam na produção, mediante a demanda, participação no projeto, realimentando a empresa com informações e necessidades.

- Forma momentânea e indiretamente:

Exemplo: Poder legislativo federal – influenciam no custo e prazo dos projetos, mediante a regulamentação do setor por meio de leis.

- Forma momentânea e diretamente.

Exemplo: Fornecedores – influenciam no custo e prazo dos projetos, dependendo da sua responsividade, flexibilidade e disponibilidade.

3.1.5. ANÁLISE DE IMPACTO E DEPENDÊNCIA ENTRE AS VARIÁVEIS

Com o intuito de avaliar a relação entre as variáveis e o grau de impacto correspondente, foi estabelecida uma escala, com gradação de valores, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Escala de Classificação

Descrição	Grau
Impacto muito expressivo negativamente	-7
Impacto expressivo negativamente	-5
Impacto médio negativamente	-3
Impacto pouco relevante negativamente	-1
Sem impacto	0
Impacto pouco relevante positivamente	1
Impacto médio positivamente	3
Impacto expressivo positivamente	5
Impacto muito expressivo positivamente	7

Posteriormente, os autores confrontaram as variáveis formando uma matriz cruzada de impacto versus dependência, conforme Tabela 4. A coluna mais à direita deste quadro representa o grau de impacto (motricidade) da variável. A última linha deste quadro representa o grau de dependência de uma variável em relação às demais. Os valores foram resumidos na Tabela 5:



Tabela 4: Matriz de impactos cruzados

	Variáveis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Impacto	
1	Taxa do Dólar	X	7	5	5	0	0	3	0	0	5	5	3	0	1	1	1	1	3	0	0	0	40	
2	Inflação	1	X	3	3	0	0	5	3	3	5	5	1	0	0	0	0	3	1	0	0	0	33	
3	Tributo sobre comércio exterior / imposto de importação	0	1	X	0	0	0	5	0	0	0	7	7	3	1	0	0	0	0	0	0	3	27	
4	Tributos de operações financeiras	0	1	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
5	Gestão de Resíduos e Riscos Ambientais	0	0	0	0	X	3	1	0	0	5	3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	14	
6	Leis e normas ambientais	0	0	0	0	7	X	1	0	0	3	3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	16	
7	Incentivos fiscais – redução do IPI (imposto sobre produto industrializado)	0	5	1	1	0	0	X	1	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	18	
8	Investimento em combate às falsificações	0	0	0	0	0	0	0	X	0	3	3	3	0	1	0	0	0	3	0	0	0	13	
9	Investimento em educação profissionalizante / profissionais com conhecimento técnico	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	5	1	5	0	0	5	0	0	0	0	16	
10	Preço da Matéria Prima - Plástico (kg)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	X	1	5	3	5	0	0	0	0	0	0	0	15	
11	Preço dos Equipamentos / Impressoras	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	X	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	17	
12	Custo do Projeto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	5	7	0	0	0	0	0	0	0	12	
13	Flexibilidade do Design	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	X	7	0	0	0	0	0	0	0	8	
14	Qualidade	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	3	1	X	0	0	0	0	0	0	0	14	
15	Takt time	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	X	5	0	0	0	0	0	14	
16	Gestão da Cadeia de Suprimentos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	5	X	0	0	0	0	0	12	
17	Renda média das famílias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	7	0	0	0	7	
18	Demanda mercado global	3	3	0	0	0	0	3	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	13	
19	Legislação da indústria / Patentes	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	X	3	0	15	
20	Capacidade de Segurança dos Dados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	X	9	
21	Surgimentos de outras tecnologias emergentes	0	0	0	0	3	0	1	0	0	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	13
	Dependência	4	17	9	9	10	6	24	4	4	39	48	48	23	36	6	8	9	14	0	3	6	327	

Tabela 5. Impactos e Dependências

Variáveis	Impacto	Dependência
Taxa do Dólar	40	4
Inflação	33	17
Tributo sobre comércio exterior / imposto de importação	27	9
Tributos de operações financeiras	1	9
Gestão de Resíduos e Riscos Ambientais	14	10
Leis e normas ambientais	16	6
Incentivos fiscais – redução do IPI (imposto sobre produto industrializado)	18	24
Investimento em combate às falsificações	13	4
Investimento em educação / profissionais com conhecimento técnico	16	4
Preço da Matéria Prima - Plástico (kg)	15	39
Preço dos Equipamentos / Impressoras	17	48
Custo do Projeto	12	48
Flexibilidade do Design	8	23
Qualidade	14	36
Takt time	14	6
Gestão da Cadeia de Suprimentos	12	8
Renda média das famílias	7	9
Demanda mercado global	13	14
Legislação da indústria / Patentes	15	0
Capacidade de Segurança dos Dados	9	3
Surgimentos de outras tecnologias emergentes	13	6
MÉDIA	13,85	14,05

Computou-se o somatório dos fatores numéricos de dependências e impacto de cada variável. Em seguida, com o objetivo de facilitar a priorização e classificação das variáveis, calculou-se a média, no valor de 13,85 para o Impacto e 14,05 para a Dependência.

3.1.6. SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS RELEVANTES

Posteriormente à análise de dependência das variáveis, desenhou-se um gráfico de Impacto versus Dependência (Figura 4) contemplando cada uma das 21 variáveis. Estas foram representadas por pontos em coordenada cartesiana, em que o eixo X corresponde à dependência e o eixo Y representa o impacto. O centro do gráfico corresponde ao valor médio da dependência e do impacto. Foram excluídas as variáveis do quadrante inferior esquerdo, por apresentarem menor impacto e dependência.

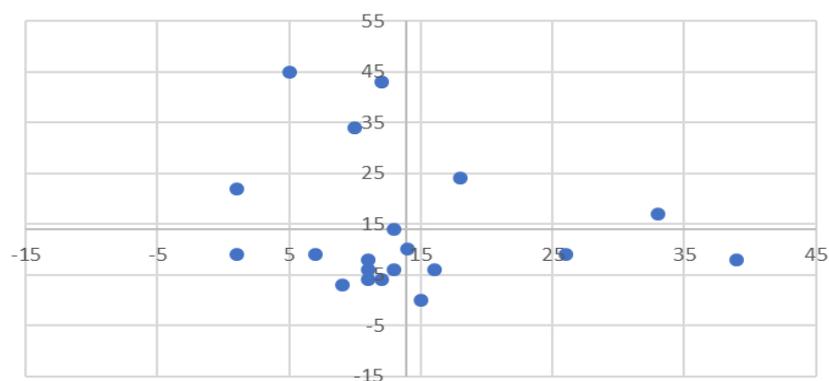


Figura 4: Distribuição dos somatórios de impactos x dependências

Com o objetivo garantir maior robustez à decisão de seleção das variáveis mais relevantes, os autores optaram por fazer a Correlação de Pearson entre as variáveis quantitativas, conforme Tabela 6. No exemplo em tela, tal procedimento corroborou a proposta de não excluir as variáveis anteriormente citadas, pois elas apresentam alta correlação.

Tabela 6. Correlação de Pearson entre variáveis quantitativas.

	Dólar	Inflação	IPI	Matéria-Prima	Equipamentos
Dólar	1				
Inflação	0,998067	1			
IPI	0,894427	0,892699	1		
Matéria Prima	0,981023	0,991176	0,877454	1	
Equipamentos	0,894427	0,892699	1	0,877453595	1

Apesar da variável de “Custo de Projeto” apresentar forte dependência entre as variáveis avaliadas, optou-se por retirá-la dentre as mais relevantes, pois, segundo o apontamento feito pela empresa entrevistada 3D Rio, este custo está relacionado a diversas outras variáveis que além de não comporem esta pesquisa, dependem de fatores aleatórios e não possuem previsibilidade bem definida.

Desta forma, a quantidade inicial de 21 variáveis foi reduzida para 8 variáveis relevantes, conforme Tabela 7.

Tabela 7: Seleção de variáveis relevantes

Variáveis	Impacto	Dependência
Taxa do Dólar	40	4
Inflação	33	17
Tributo sobre comércio exterior / imposto de importação	27	9
Incentivos fiscais – redução do IPI (imposto sobre produto industrializado)	18	24
Preço da Matéria Prima - Plástico (kg)	15	39
Preço dos Equipamentos / Impressoras	17	48
Leis e Normas Ambientais	16	6
Legislação de Manufatura Aditiva e Patentes	15	0

3.1.7. ANÁLISE DAS VARIÁVEIS RELEVANTES

Segundo Gomes e Gomes (2019), o estudo de cenários prospectivos busca agregar dados quantitativos e informações qualitativas. Assim sendo, foi realizada uma retrospectiva dos dados quantitativos e uma análise subjetiva dos dados qualitativos.

3.1.7.1. TAXA DO DÓLAR

A taxa do dólar é uma incerteza do cenário global que possui um impacto nas outras variáveis econômicas e, conseqüentemente, nas demais variáveis. Além disso, essa variável influencia diretamente no preço de algumas matérias-primas e equipamentos importados utilizados na manufatura aditiva. A Figura 5 apresenta a variação do preço do dólar no período de 2006 a 2018.

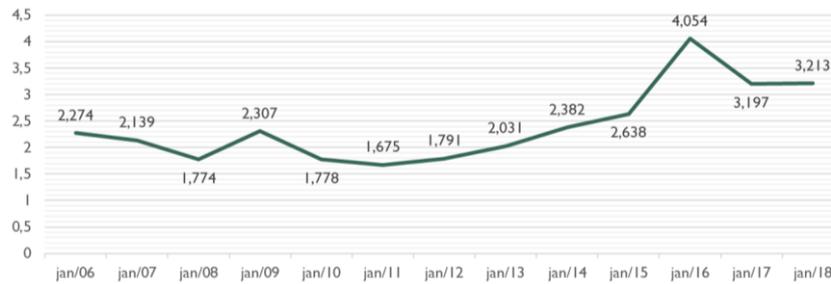


Figura 5. Variação da taxa do dólar

Fonte: www.bcb.gov.br

3.1.7.2. INFLAÇÃO

No presente trabalho, os autores se ativeram à análise do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) como indicador da inflação. A indústria sofre as consequências da alta no valor do IPCA, uma vez que está relacionada com a elevação do valor de tributos governamentais, além do aumento de custos com a mão de obra e matéria-prima. A variação do IPCA no período de 2006 a 2017 está ilustrada na Figura 6.

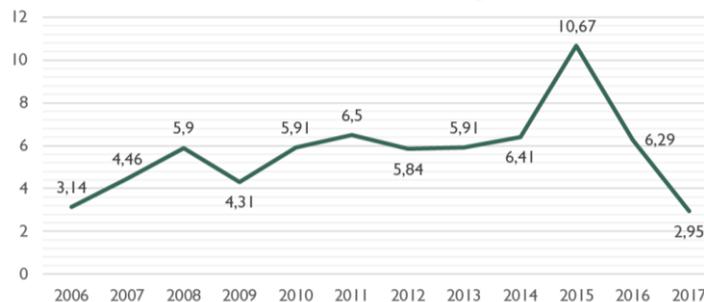


Figura 6. Variação do IPCA

Fonte: www.ibge.gov.br

3.1.7.3. TRIBUTOS SOBRE COMÉRCIO EXTERIOR / IMPOSTO DE IMPORTAÇÃO

Segundo Reis (2014), a Constituição Federal prevê a possibilidade de alteração do imposto de importação por ato administrativo do poder executivo, atrelada, majoritariamente, a fundamentos de política econômica. Neste contexto, é possível que este tributo extrapole o seu caráter regulatório e exerça um papel sancionatório, a título de instrumento de retaliação comercial.

Tabela 8: Tributos do comércio exterior

Ano Base	Receita em % do PIB
2007	0,45
2008	0,55
2009	0,48
2010	0,54
2011	0,61
2012	0,65
2013	0,69
2014	0,64
2015	0,65
2016	0,5

Fonte: www.receita.fazenda.gov.br

A Tabela 8 faz um resumo do montante de tributos arrecadados em comércio exterior no período de 2007 a 2016. Outro fator que pode influenciar as tarifas aduaneiras no Brasil é a adesão ou o rompimento de acordos internacionais, como previstos em blocos comerciais, tais quais o Mercosul.

3.1.7.4. IMPOSTO SOBRE PRODUTO INDUSTRIALIZADO (IPI)

Regulamentado pelo Decreto 7.212/2010, o IPI é um imposto federal previsto no art.153, IV, da Constituição Federal e incide sobre produtos industrializados, nacionais e estrangeiros. As alíquotas variam conforme o item em questão, de acordo com a Tabela de Incidência de Imposto sobre Produtos Industrializados (TIPI). A redução da alíquota do IPI pode ser utilizada pelo Governo Federal como estratégia compensatória em momentos de crise numa tentativa de estimular a economia e aumentar a competitividade de empresas nacionais. (GENTIL; HERMANN, 2017)

Conforme será mencionado no item 3.1.7.5, há uma gama de matérias primas utilizadas na Manufatura Aditiva e o presente trabalho focou na matéria prima de origem plástica. A última atualização da TIPI, no ano de 2018, estabeleceu alíquotas que variam entre 5 a 15% para insumos plásticos.

3.1.7.5. PREÇO DA MATÉRIA PRIMA E DOS EQUIPAMENTOS

Em decorrência da crescente busca por práticas sustentáveis, as atividades humanas vêm procurando escolher materiais mais corretos, visando maior equilíbrio entre a economia, o meio ambiente e a sociedade. Neste contexto, a manufatura aditiva pode apresentar-se como uma opção mais sustentável às organizações, com uma variedade de matérias-primas. (PORTO; SANTOS, 2016).

A classe de materiais mais utilizada nos processos de manufatura aditiva é a de polímeros e materiais compósitos. Existem diferentes métodos de impressão 3D, porém o mais econômico, simples e acessível é o *Fused Deposition Modeling* (FDM). Esta técnica pode utilizar diferentes matérias-primas biodegradáveis ou recicláveis. Neste, ressalta-se o Politereftalato de Etileno Glicol (PETG), altamente reaproveitável como as garrafas PET. No primeiro grupo, destaca-se o ácido polilático (PLA), que se decompõe em até 48 meses na natureza, muito antes, portanto, que outros tipos plásticos que chegam a demorar centenas de anos. O filamento ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), derivado do petróleo, foi a primeira das matérias-primas da manufatura aditiva a ser produzida em escala no Brasil, apresentando menor custo atualmente. Nos últimos anos observou-se uma redução dos preços nas matérias-primas e impressoras, devido a maior competitividade de fornecedores no mercado nacional (BRAGA; PEREIRA, 2017; PORSANI; SILVA; HELLMEISTER, 2017; 3D RIO, 2019).

3.1.7.6. LEIS E NORMAS AMBIENTAIS

Diferentemente do que acontece com a maioria das áreas do direito, não há um código que unifique a legislação ambiental brasileira, apesar da existência de diversos códigos setorializados. (FARIAS; COUTINHO; MELO, 2015).

A lógica do capitalismo industrial, cujo foco principal é o lucro e sobressaem a competitividade e o imediatismo, dificulta a adoção de práticas de gestão ambiental. Neste contexto, a necessidade de regulamentação aumenta, como fator estimulador da ação ambiental nas organizações. (ALMEIDA, 1998).

Ainda não há nenhuma legislação ambiental especificamente voltada para a Manufatura Aditiva. Porém, em que pese tal legislação seja fundamental, o excesso de normas burocráticas pode representar um entrave para o setor. Atualmente, podem estar sujeitas ao

licenciamento quaisquer atividades que têm alguma possibilidade de causar poluição. Na prática, é difícil distinguir as atividades que denigrem o meio ambiente daquelas que apenas utilizam os recursos ambientais como matéria prima. (FARIAS; COUTINHO; MELO, 2015).

3.1.7.7. LEGISLAÇÃO DE MANUFATURA ADITIVA E PATENTES

O desenvolvimento das tecnologias de impressão 3D na década de 1980 estavam mais voltadas para fins comerciais do que acadêmicos, de modo que as primeiras invenções eram logo patenteadas (PORSANI; SILVA; HELLMMEISTER, 2017), o que pode ter dificultado a pesquisa na área durante a vigência destas patentes. Conforme mencionado anteriormente, o desenvolvimento da Manufatura Aditiva pode trazer à tona algumas discussões éticas quanto às suas aplicações. Especialmente com o surgimento de novos equipamentos com a capacidade de imprimir uma ampla gama de materiais, desde titânio à cartilagem humana, ocorre uma revolução na cadeia produtiva. (BRAGA; PEREIRA, 2017). Uma ferramenta para manter o equilíbrio é a regulamentação do setor. Em 2015, os Ministérios da Indústria, Comércio Exterior e Serviços e da Ciência, Tecnologia e Inovação criaram uma força tarefa para elaboração da Estratégia Nacional para Manufatura Avançada, que engloba entre outros temas, a Manufatura Aditiva. Em 2017 foi lançado o Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Manufatura Avançada do Brasil, que tem como meta, dentre outras, propor adequações na legislação e regulamentação técnica.

3.1.7.8. DEFINIÇÃO DE INDICADORES

Com base nos valores máximo, médio e mínimo de cada variável quantitativa e na análise subjetiva das variáveis qualitativas, as mesmas foram estratificadas em diferentes segmentos possíveis, conforme Tabela 9.

Tabela 9: Indicadores e Descritivos

Taxa do Dólar	< R\$3,00	Entre R\$ 3,01 a R\$ 3,50	Entre R\$ 3,51 e R\$ 4,00	>R\$4,01
Inflação	< 2,95 %	Entre 2,95 e 6,05%	Entre 6,05 e 10,67%	>10,67%
Tributo sobre comércio exterior / imposto de importação	Queda expressiva nos tributos	Ligeira queda dos tributos	Estabilização dos tributos	Aumento dos tributos
Incentivos fiscais – redução do IPI (imposto sobre produto industrializado)	< 5%	Entre 5 e 15%		>15%
Preço da Matéria Prima (ABS/PLA)	< R\$90/Kg (ABS) < R\$ 120/Kg (PLA)	Entre R\$90/Kg e R\$ 120/Kg (ABS) Entre R\$ 120/Kg e R\$ 150/Kg (PLA)	Entre R\$120/Kg e R\$250/Kg (ABS) Entre R\$150/Kg e R\$250/kg (PLA)	>R\$250,00/kg
Preço dos Equipamentos / Impressoras (FDM)	< R\$ 4.000,00	Entre R\$ 4.000 e R\$ 8.000		>R\$ 8.000,00
Leis e Normas Ambientais	Leis ambientais rigorosas que não tratam as especificidades do setor	Leis ambientais brandas que não tratam as especificidades do setor	Leis ambientais ponderadas que tratam as especificidades do setor	
Legislação de Manufatura Aditiva e Patentes	Não há regulação ou legislação	Legislação adequada com as expectativas do setor	Legislação carece de adequação ao setor	

3.1.7.9. CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS

O desenvolvimento de cenários prospectivos requer um esforço para fazer descrições consistentes e viáveis de possíveis situações futuras. Em que pese cada cenário seja uma representação imperfeita e parcial do futuro, estes devem apresentar os fatores condicionantes do porvir, correlacionando-os com a situação atual. Deste modo, os cenários devem destacar os aspectos mais relevantes para a tomada de decisão. (RUBEM *et al.*, 2014).

Com base no presente estudo é possível caracterizar três cenários prospectivos distintos. A literatura geralmente nomeia estes cenários de maneira intuitiva, com o propósito de facilitar o seu entendimento. O cenário de tendência será denominado “Crescendo com Sustentabilidade”; o cenário otimista será “Imprimindo o Mundo”; e o cenário pessimista será o “Falha na Impressão”.

Cenário de Tendência (Crescendo com Sustentabilidade): O cenário político brasileiro apresenta estabilidade e as reformas necessárias são feitas aos poucos. A agenda econômica liberal do governo é bem-sucedida, a inflação está controlada e há geração de novas receitas, diminuindo o preço do dólar e permitindo pequena redução gradativa da tributação sobre a indústria. O Brasil permanece com papel de destaque no Mercosul, porém faz outros acordos bilaterais de comércio exterior com países da União Europeia, América do Norte e Ásia, incrementando sua balança comercial. A confiança do investidor estrangeiro aumenta e os investimentos no país são retomados, gerando emprego e aumentando ligeiramente o consumo das famílias. As mudanças na legislação que afetam a manufatura aditiva são feitas de forma equilibrada, ponderando os diversos interesses envolvidos. A manufatura aditiva se desenvolve e passa a contar com pequenas, médias e grandes empresas no país, que conseguem conviver harmoniosamente. Os métodos de impressão 3D continuam a se desenvolver e as empresas investem em novas tecnologias mais sustentáveis.

Cenário Otimista (Imprimindo o Mundo) : O cenário político brasileiro é favorável para a série de reformas necessárias, que são feitas de forma expedita. A Política Econômica Liberal do governo é muito bem-sucedida e gera novas receitas, fazendo despencar a inflação e o preço do dólar, permitindo considerável redução da tributação sobre a indústria. O Brasil se fortalece como liderança político-econômica do hemisfério sul, impondo-se no comércio local e abrindo espaço para participação em outros blocos de livre comércio com a União Europeia, América do Norte e Ásia. Os investidores estrangeiros investem pesado no país, incrementando a renda das famílias e aquecendo a economia. Ocorre uma adequação da legislação com a necessidade do setor da manufatura aditiva, reduzindo os entraves para o crescimento do setor. A manufatura aditiva sofre forte expansão, com altos investimentos, possibilitando inovações científicas e melhores práticas em sustentabilidade.

Cenário Pessimista (Falha na Impressão): O cenário político brasileiro é caótico e as reformas necessárias não são aprovadas. As propostas econômicas liberais do governo são embaraçadas pelos poderes legislativo e judiciário e questionada pela sociedade, de modo que não consegue gerar receitas para suprir o déficit e há aumento da inflação. A escassez do dólar faz o preço da moeda aumentar. O Governo necessita aumentar a tributação. A imagem política do Brasil é manchada devido à corrupção e outros países do Mercosul tentam assumir a liderança do bloco, impondo condições pouco favoráveis ao nosso comércio exterior. Os investidores estrangeiros saem do país, agravando ainda mais a crise político econômica. A legislação é piorada e novos entraves para o setor da manufatura aditiva prejudicam o desenvolvimento da tecnologia no país. As empresas de manufatura aditiva não conseguem manter-se o que leva a sua falência, aumentando o preço dos serviços. Devido aos altos preços praticados, começa-se a busca pelos equipamentos e matérias primas mais baratos, sem levar em conta o impacto para a sustentabilidade.

4. CONCLUSÕES

Após a análise de cada cenário e a síntese dos possíveis caminhos para consolidação da manufatura aditiva no mercado brasileiro, nota-se que, apesar de um crescimento moderado em um primeiro momento, ainda existe uma necessidade de aproximação maior e mais flexível com países de topo, como os EUA, Alemanha e Reino Unido, visando uma negociação mais branda sobre as taxas de importação, que atualmente impactam diretamente

nos custos de maquinário e matéria prima, tornando o investimento não competitivo. Outra vantagem decorrente dessas parcerias está ligada ao aumento da expertise sobre a tecnologia, uma vez que utilizados modelos já consolidados e casos de sucesso em outros países, poderia facilitar a adaptação do mercado interno por meio de novos investimentos e alinhamento direto com setores industriais. Desta forma, é possível equiparar os mercados e atrair o investimento das empresas para o desenvolvimento de tecnologia nacional, alavancando a participação do Brasil no mercado global de impressão 3D.

Por fim, é proposto que novas pesquisas quantitativas e qualitativas sejam realizadas, para que a análise sobre os indicadores seja mais precisa e coerente com a realidade do mercado nacional, visto que ainda existe uma certa dificuldade no levantamento de dados históricos sobre variáveis que impactam fortemente na tecnologia.

Da mesma forma, com base nos cenários sustentáveis, existem ainda grandes lacunas sobre os principais indicadores e a incerteza de que a consolidação da impressão 3D levaria os sistemas de produção para uma economia circular, visto que a grande variabilidade de materiais utilizados na produção poderia acarretar em novos impactos ambientais, havendo assim a necessidade de outros estudos sobre o ciclo de vida dos produtos, enquanto tecnologia ainda está no início da curva de crescimento.

6. REFERÊNCIAS

3D RIO. Tudo o que você precisa saber sobre impressão 3D, 2019. Disponível em: <<https://3dr.io.com.br/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-impressao-3d/>>

ALMEIDA, L. T. Política Ambiental: uma análise econômica. Campinas: Papirus, 1998

ASSIS, B. F. S. P.; PEREIRA, D. P.; MACHADO, L. G.; GOMES, C. F. S. Cenários Prospectivos Na Aviação Comercial Brasileira. Revista GEINTEC, São Cristóvão/SE – 2017. Vol.7/n.1/Jan-Mar/17 3686 p.3686-3700, 2017

ASTM, 2015. F2792–12a Standard terminology for additive manufacturing technologies, 2015. Disponível em: <www.astm.org/Standards/F2792.htm>

BILLEN, G.; NOË, J. L.; GARNIER, J. Two contrasted future scenarios for the French agro-food system. Science of the Total Environment 637–638 (2018) 695–705, 2018

BRAGA, L. M.; PEREIRA, M. V. S. Manufatura aditiva: uma análise de aplicações atuais, Rio de Janeiro, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2017

DELOITTE. 3D opportunity for the future: Industry participants speak out, 2015. Disponível em: <www2.deloitte.com/insights/us/en/deloitte-review/issue-17/future-of-additive-manufacturing-industry-speaks.html>

DESPEISSE, M., BAUMERS, M.; BROWN, P.; CHARNLEY, F.; FORD, S. J.; GARMULEWICZ, A.; ROWLEY, J. Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda. Technological Forecasting and Social Change, 115: 75-84, 2017

ÉPOCA. Indústria recorre mais à impressão 3D, e uso da tecnologia cresce 30%. 2017. Disponível em: <www.epocanegocios.globo.com/Economia/noticia/2017/02/industria-recorre-mais-impressao-3d-e-uso-da-tecnologia-cresce-30.html>

FARIAS, T.; COUTINHO, F. S. N.; MELO, G. K. R. M. Direito Ambiental – Coleção Sinopses para concursos. 3ª Edição. Salvador: Editora Jus Podivm, 2015

FORD, S.; DESPEISSE, M. Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. Journal of Cleaner Production, Vol. 137, pp. 1573-1587, 2016

GBLER, M.; UITERKAMP, A. J. M. S.; VISSER, C. A global sustainability perspective on 3D printing technologies. Energ. Policy 74 (C), 158–167, 2014



- GENTIL, D.; HERMANN, J.** A política Fiscal do primeiro governo Dilma Rousseff: Ortodoxia e retrocesso. UFRJ – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <www.ie.ufrj.br>
- GODET, M.** The art of scenarios and strategic planning: Tools and pitfalls. *Technological Forecasting and Social Change*, 65(1), 3–22, 2000
- GOMES, C. F. S.; COSTA, H. G.; BARROS, A. P.** Sensibility analysis of MCDA using prospective in Brazilian energy sector. *Journal of Modelling in Management*, Vol. 12 Issue: 3, pp.475-497, 2017.
- GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.** Princípios e métodos para a tomada de decisão: Enfoque multicritério (6a ed.). São Paulo: Atlas, 2019
- HOLMSTRÖM, J.; PARTANEN, J.; TUOMI, J.; WALTER, M.** Rapid manufacturing in the spare parts supply chain: Alternative approaches to capacity deployment. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21 (6): 687-697, 2010
- MORITZ, G. D. O.; PEREIRA, M. F.; SOUZA, I.; MANOEL, D.; HERLING, L. H. D.; MORITZ, M. O.; CESCINETTO, S. M.** A prospecção de cenários nas universidades: Variáveis portadoras de futuro e a trajetória estratégica da UFSC para 2022, 2010
- OLIVEIRA, A. S.; BARROS, M. D.; PEREIRA, F. C.; GOMES, C. F. S.; COSTA, H. G.** Prospective scenarios: A literature review on the Scopus database. *Futures* 100 20–33, 2018
- PORSANI, R. N.; SILVA, B. B.; HELLMEISTER, L. A. V.** Revisão Teórica da História da Manufatura Aditiva e das Propriedades dos Principais Insumos e Estruturas de Preenchimento nas impressoras 3D FDM. In: 2º Congresso Internacional de Design e Materiais, Joinville/SC, 2017
- PORTO, T. M. S.; SANTOS, J.** Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil, Rio de Janeiro/ PORTO, T. M. S. – Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA POLITÉCNICA, 2016
- REIS, M. S.** O Regime de alíquotas do imposto de importação: da tarifa do império até os acordos constitutivos do Mercosul e da OMC. *Revista de Direito Internacional Econômico e Tributário RDIET*. Brasília, V.9, nº 2, p.134-176, Jul-Dez, 2014
- ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING.** Additive manufacturing: opportunities and constraints. A Summary of a Roundtable Forum, 2013
- RUBEM, A.; MOURA, A.; GOMES, C.** Cenários Prospectivos no Apoio à decisão: uma proposta de aprimoramento do método de Schoemaker - Relatório de pesquisa em Engenharia de Produção v.14, n. B5, p. 70-80. Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2014
- SCULPTEO.** The State of 3D Printing, 2017. Disponível em: <www.sculpteo.com/en/get/report/state_of_3d_printing_2017>
- STATISA.** Global 3D printing market share by country, 2018. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/800356/worldwide-3d-printing-market-by-country/>>
- WOHLERS ASSOCIATES.** Wohlers Report, 2018, Disponível em: <www.wohlersassociates.com/2018report.htm>