

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE MÁSCARAS FACIAIS EM IMPRESSORAS 3D: AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS FILAMENTOS PLÁSTICOS

ISADORA MARCELA DE CAMPOS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - CAMPUS JANDAIA DO SUL

BRUNA GUEDES CESSSEL

GIANCARLO LOVON-CANCHUMANI

ANDRÉ LUIZ GAZOLI DE OLIVEIRA

RAIMUNDO ALBERTO TOSTES

Introdução

Durante a pandemia a Universidade Federal do Paraná desempenhou atividades que contribuíram significativamente com a sociedade, dentre elas, a fabricação de máscaras faciais que foram doadas para municípios com o objetivo de ajudar na proteção das pessoas. Contudo, para que as máscaras sejam produzidas e cheguem ao seu objetivo final, há consumo de energia, materiais e resíduos que podem gerar impactos ambientais a longo prazo (VEIT, 2018). Desta forma, a ACV vem para analisar esses impactos e ajudar a encontrar uma maneira de produzir com o menor impacto ambiental.

Problema de Pesquisa e Objetivo

A produção de máscaras faciais se tornou imprescindível por conta da pandemia da corona vírus e a necessidade de proteção. Nesse sentido, o objetivo do estudo é avaliar os impactos ambientais gerados pelo filamento de plástico ABS usado na fabricação de máscaras de proteção facial utilizadas para o combate do COVID-19 feitas em impressora 3D. O Estudo teve como base a produção de máscaras faciais na UFPR campus Jandaia do Sul e realizou uma análise comparativa entre a utilização do filamento plástico virgem e reciclado durante o processo produtivo e os impactos por eles gerados.

Fundamentação Teórica

Com a intenção de fundamentar teoricamente a pesquisa e de modo a atingir os objetivos propostos, a pesquisa apresenta os principais conceitos relacionados a sustentabilidade, manufatura aditiva e avaliação de ciclo de vida (ACV). A ACV permite avaliar e quantificar os impactos ambientais que estão relacionados a um determinado produto. Sendo conhecida ainda como “do berço ao túmulo”, por meio desta abordagem é possível analisar todas as fases do ciclo de vida desde a extração da matéria-prima, passando pela produção, distribuição, uso e disposição final, contemplando também a reciclagem.

Metodologia

A metodologia utilizada é a ACV baseada nas normas ISO 14040 que determinam a estrutura, os requisitos e as diretrizes que devem constar no estudo para avaliar os impactos gerados por um produto ou processo produtivo. Para o tratamento dos dados foi utilizado o software SimaPro e o método ReCiPe. O estudo considerou um cenário base, onde foi utilizado filamento de plástico virgem durante a produção dos arcos das máscaras faciais, um cenário 2 de fabricação a partir do uso do filamento de um mix de plásticos reciclados e o um cenário 3 a produção a partir de filamento plástico PET reciclado.

Análise dos Resultados

No que se refere a análise é possível observar que o cenário 1, representa as máscaras produzidas pelo filamento de plástico virgem, tem mais impactos ambientais quando comparado aos cenários 2 e 3. Dentre as categorias mais representativas, observa-se: toxicidade humana não cancerígena, eco toxicidade água doce e escassez de recurso fóssil. Essas categorias de impacto refletem a danos à saúde humana e danos do ecossistema, mas principalmente aos danos causados aos recursos naturais e isso se deve ao fato de que, quando não há reciclagem do plástico, este é lançado aos oceanos.

Conclusão

O estudo mostrou a modelagem do processo produtivo de máscara faciais a partir de impressoras 3D considerando todo o ciclo de vida do sistema de produção a partir de uma árvore de fluxos, onde foi possível observar todos os processos envolvidos até chegar ao produto. Destacando que, o uso de Energia Elétrica teve uma importante contribuição nos impactos ambientais em todo o ciclo de vida. Os resultados encontrados evidenciam que, a utilização de filamento reciclado durante a produção aditiva ajuda a diminuir os impactos ambientais, principalmente nas categorias de recursos naturais.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009. VEIT, Douglas Rafael. IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NOS SISTEMAS PRODUTIVOS E SUAS REPERCUSSÕES NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS. 2018. 341 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, 2018.

Palavras Chave

Avaliação de ciclo de vida , Impactos ambientais , Máscaras faciais

Agradecimento a órgão de fomento

Agradeço desde já a oportunidade. Os temas escolhidos para debate neste XXIII ENGEMA são de suma importância para a sociedade e o meio ambiente, fomentar a discussão sobre a sustentabilidade e o uso consciente dos recursos naturais traz uma nova perspectiva de futuro. Espero poder contribuir com o desenvolvimento dos estudos, levando a mais pessoas a pesquisa que desenvolvi e agregar conhecimento advindo de outras áreas e temas. Muito obrigada.

AValiação DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE MÁSCARAS FACIAIS EM IMPRESSORAS 3D: AValiação COMPARATIVA DOS FILAMENTOS PLÁSTICOS

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais tem-se uma preocupação maior com o destino correto dos resíduos e também com as consequências que o destino incorreto pode trazer tanto ao meio ambiente, quanto a saúde humana. Assim, equilibrar o meio ambiente, a economia e o ambiente social garante qualidade de vida e faz com que os recursos naturais não sejam utilizados além da sua capacidade. Dessa forma, as empresas que visam a sustentabilidade têm um caráter mais competitivo e sabem aproveitar melhor as oportunidades que são expostas. Porém, o não conhecimento prévio relacionado à exploração, processos produtivos poluentes e uso irracional de recursos naturais ainda são comuns. Isso corrobora para um aumento gradual da produção de resíduos que afetam o meio ambiente, ameaça à saúde humana e tem sérias consequências para as gerações futuras. Essas práticas são contrárias ao que é conhecido como desenvolvimento sustentável (SILVA, 2012).

A pandemia do Novo Coronavírus (COVID19) trouxe consigo um cenário totalmente atípico, com a necessidade de isolamento e distanciamento social e o uso indispensável de equipamentos de proteção individual, principalmente máscaras. Diante dessa falta de EPIs professores e alunos da UFPR Jandaia do Sul, com o apoio de pessoas de outros setores da UFPR se uniram para produzir e distribuir máscaras de proteção facial. Inicialmente o intuito do projeto era atender profissionais da saúde do Hospital das Clínicas da UFPR, mas o Projeto Jandaia Makers conseguiu entregar mais de 7000 máscaras em quatro estados brasileiros, sendo eles Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro e Rondônia (UFPR, 2020).

A produção das máscaras de proteção facial ocorre por meio de manufatura aditiva e conceitos da cultura maker. Desta forma, um modelo de produção foi desenvolvido e através do processo mecânico da impressora 3D várias camadas de filamento de plástico são sobrepostas uma à outra até formar o objeto projetado.

Considerando que um material em sua forma original como o filamento de plástico virgem gera um impacto ambiental, caso fosse utilizado o filamento de plástico reciclado para a produção, este também provocaria algum dano ao meio ambiente. A Comissão Europeia considera a ACV (Avaliação do Ciclo de Vida) como sendo a melhor tecnologia para avaliar o desempenho ambiental de um produto ou sistema (VIGNALI, 2017). Chehebe (2002) acredita que com ela é possível quantificar e comparar de forma integrada o desempenho ambiental dos produtos, ao passo que, para Coltro (2007) ela é importante porque aborda questões ambientais complexas de forma clara, gerando números que permite tomadas de decisão de forma objetiva.

Sonnemann (2007, apud SILVA, 2012) ressalta que é importante levar em conta todas as etapas do ciclo de vida dos produtos (bens e serviço), desde a extração dos recursos materiais e energéticos até a disposição final no meio ambiente, visão do berço ao túmulo. A Avaliação do Ciclo de vida (ACV) de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2009a), permite listar os fluxos de entrada e saída de todos os materiais e energia do sistema do produto e também pode medir impactos ambientais potenciais desses fluxos no ambiente. Isso permite a tomada de decisões sobre oportunidades para melhorar o desempenho ambiental, a comparação de produtos ambientais e outras aplicações.

A Universidade Federal do Paraná (UFPR) tem realizado atividades durante a pandemia e contribuído com a sociedade, fabricando grandes quantidades de máscaras faciais, modelo *Face-Shield*, que foram doadas para os municípios com o objetivo de ajudar na proteção das pessoas. Entretanto, para que essa fabricação ocorra e que as máscaras cheguem no seu objetivo final há consumo de energia, materiais, além de resíduos que são gerados e que se não são

descartados de forma correta, podem gerar grandes impactos ambientais a longo prazo. Desta forma, a ACV vem para analisar esses impactos e ajudar a encontrar uma maneira de produzir com o menor impacto ao meio ambiente.

Nesse sentido, o objetivo do estudo é avaliar os impactos ambientais gerados pelo filamento de plástico ABS usado na fabricação de máscaras de proteção facial utilizadas para o combate do COVID-19 feitas em impressora 3D. O Estudo teve como base a produção de máscaras faciais na UFPR campus Jandaia do Sul e realizou uma análise comparativa entre a utilização do filamento plástico virgem e reciclado durante o processo produtivo e os impactos por eles gerados. O presente trabalho está estruturado em cinco seções: introdução com a contextualização do tema, referencial teórico, metodologia, apresentação dos resultados e as considerações finais do estudo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O grande volume dos materiais plásticos, a enorme quantidade de descarte pós-consumo e os impactos ambientais causados pela disposição incorreta dos resíduos, que não são biodegradáveis, são apenas alguns dos problemas a serem citados. Além disso, os plásticos podem causar danos à saúde dos seres humanos e dos animais, principalmente por causa dos aditivos e químicos utilizados na sua fabricação (Brasil, 2013; Magrini et al, 2016).

O processo de reciclagem usando plásticos pós-consumo no lugar de matérias-primas primária estão entre os estudos para minimizar os impactos ambientais na natureza. Estudos mostram a produção de filamentos reciclados para produção aditiva, como mecanismos de tratamentos de plásticos pós-consumo (Kreiger et al., 2014).

2.1 Manufatura aditiva

De acordo com Veit (2018) a manufatura aditiva é o processo de combinar materiais para criar objetos a partir de dados do modelo 3D, geralmente camada por camada de plástico. Também é conhecido como Manufatura Rápida ou Prototipagem Rápida e, ao contrário dos processos de manufatura convencionais (subtrativos), a manufatura aditiva cria a forma final adicionando materiais.

Pesquisas mostram uma redução de até 90% na energia incorporada dos filamentos reciclados (Kreiger et al., 2013). Além disso, o plástico pós consumo de filamento reciclarem tem uma redução dos custos de produção (Zhong et al., 2018).

O processo de manufatura aditiva começou a ganhar força e tornar-se objeto de novas pesquisas à medida que passou a ser utilizado na fabricação de peças em polímeros, embora fosse um processo demorado e tivesse algumas falhas, além de poder ser aplicado apenas em polímeros, já servia para demonstrar toda a capacidade que o processo poderia ter (OLIVEIRA, 2019; Kreiger et al., 2013).

Em síntese, a manufatura aditiva pode ser dividida em quatro correntes. A primeira delas é a prototipagem, ou seja, sua utilização de maneira tímida principalmente por universidades para criação de protótipos, porém com custos elevados tanto de equipamentos quanto de materiais. A segunda corrente trata das aplicações da Manufatura Aditiva. As pesquisas procuravam mostrar onde a Manufatura Aditiva poderia ser empregada no contexto das empresas, principalmente na área médica. Ao verificar que as aplicações eram pertinentes, a terceira corrente de pesquisas voltou-se para os materiais e equipamentos. Com a demanda por equipamentos em expansão, os preços começam a cair e a restrição fica por conta do alto custo

e da variedade dos materiais que podem ser utilizados na Manufatura Aditiva. A corrente de estudos mais recente está voltada para a preocupação da substituição da Manufatura Aditiva aos processos de fabricação ditos “tradicionais”. (VEIT, 2018).

Portanto, com a utilização de parâmetros e materiais adequados é possível produzir peças com resistência, acabamentos e tolerâncias dimensionais adequadas, incluindo peças com geometrias complexas que demandariam muito tempo em outros processos de produção, além da necessidade de utilizar diversos processos e ferramentas, tendo ainda como vantagem, a possibilidade de fazer peças únicas, sem a necessidade de conectar como por exemplo, por meio do processo de soldagem (OLIVEIRA, 2019; VEIT, 2018).

Um método de reciclagem em potencial é a transformar resíduos plásticos em filamentos de impressão para a manufatura aditiva (impressoras 3D) (BAECHLER et al., 2013). Entre os materiais mais utilizados nas impressões 3D estão o filamento de plástico (Acrilonitrila Butadieno Estireno) ABS ou PLA para impressão. Os principais tipos de polímeros termoplásticos são: acrílicos, celulósicos, etil vinil acetato (EVA), polietileno tereftálico (PET), poliamidas (nylons), polietileno (PE), poliestireno (PS), cloreto de polivinila (PVC), policarbonato e polipropileno (PP); e polímeros termofixos (GARCIA, 2010).

À medida em que cresce a consciência ambiental, indústrias e empresas passam a avaliar, cada vez mais, como suas atividades afetam o meio ambiente. Apresentar produtos e processos com desempenho ambiental tornou-se uma questão fundamental, por este motivo as empresas estão buscando formas de minimizar seus efeitos no meio ambiente. Diversas ferramentas foram desenvolvidas, tendo como objetivo melhorar o desempenho ambiental, sendo a ACV uma delas (EPA, 2006).

2.2 A Avaliação do Ciclo De Vida (ACV)

A ACV fornece estrutura, abordagem e métodos para identificar e avaliar condições ambientais relacionados aos ciclos de vida de produtos e serviços (Curran, 2000; GUINÉE, 2011).

Ainda segundo (EPA, 2006), o termo “ciclo de vida” se refere as principais etapas no percurso da vida do produto, que vai desde a aquisição da matéria-prima para fabricar o produto, passando pela produção, uso e manutenção, até o descarte, por meio de reutilização, reciclagem ou disposição final.

A visão de ciclo de vida veio como opção a visão convencional, onde os problemas ambientais eram vistos com foco apenas no processo produtivo, geralmente no estágio de manufatura dos produtos (SILVA, 2012). Isso leva a entender que, produtos são fabricados para cumprir uma função, podendo ser uma necessidade ou desejo da sociedade, e seu potencial de impacto ao meio ambiente não acaba ao final de sua cadeia produtiva. Desta forma, não há justificativas para que efeitos gerados durante o cumprimento da função, atividade e destino final deixem de ser considerados para a avaliação de desempenho do produto (SEO; KULAY, 2006).

Estabelecido a ideia de ciclo de vida, é possível definir ACV como um método eficiente de avaliar o desempenho ambiental de um produto no decorrer de todo seu ciclo de vida. Esta avaliação se dirige tanto a identificação de todas as interações entre meio ambiente e ciclo de vida de um produto, como avalia também os impactos ambientais possivelmente associados a essas interações (CURRAN, 1996 apud SEO; KULAY, 2006).

A ferramenta ACV é definida de acordo com a norma ISO 14040 como sendo uma compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida (ABNT, 2009a). As entradas compreendem fluxo de

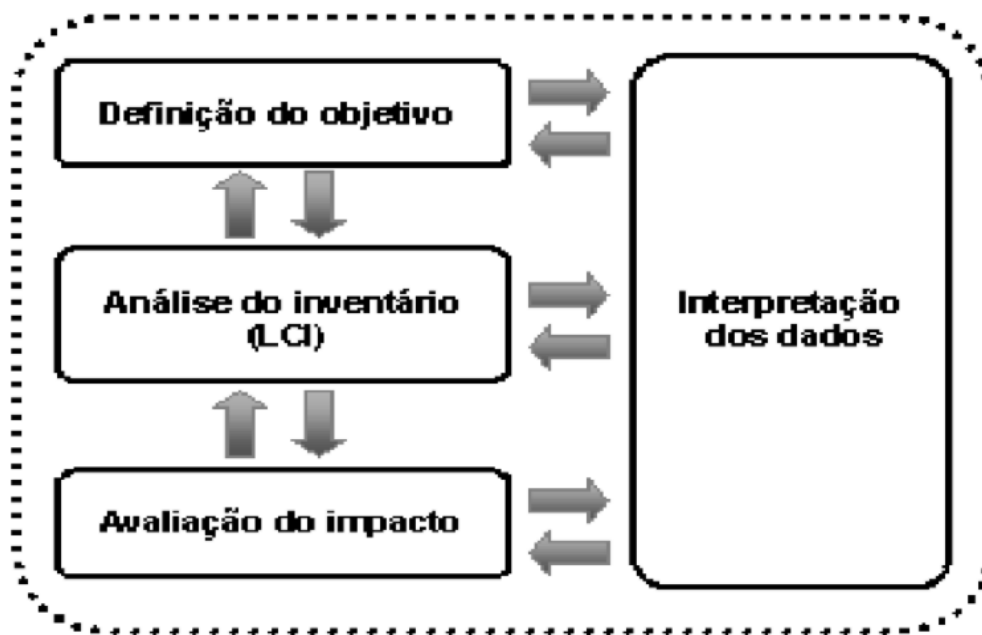
produto, material ou energia, e as saídas envolve produtos e coprodutos, perdas de energia, descargas para água e solo, além de emissões para o ar (ABNT, 2009a).

A ACV é um método que permite entender melhor os efeitos ambientais totais e também identificar em quais etapas do ciclo de vida existe uma contribuição mais considerável para o impacto ambiental ou processo analisado. Utilizando a ACV é possível avaliar e implementar melhorias ou alternativas a produtos, processos e serviços, bem como, fazer declarações ambientais, além de, incluir aspectos ambientais no desenvolvimento de produtos (Ecodesign) (COLTRO, 2007).

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a realização da ACV foram as normas ISO 14040 e 14044, seguindo os quatro passos citados na mesma, para melhor entendimento do processo (ISO, 2009). Os passos para a realização da ACV podem ser visualizados na Figura 1:

Figura 1 – Etapas de elaboração da ACV



Fonte: ISO 14040:2009

3.1 Definição de escopo

O objeto de estudo são as máscaras faciais produzidas na Universidade Federal do Paraná – UFPR, Campus Jandaia do Sul – PR, laboratório Makers. Dentre os diversos projetos desenvolvidos pela universidade, o Projeto de Extensão Jandaia Makers surgiu da necessidade de produção de máscaras faciais para profissionais da área da saúde que trabalham na linha de frente para o combate do Novo Coronavírus (REDE COMBATE COVID-19 UFPR, 2020).

Para o estudo foram considerados 3 cenários. O cenário 1 corresponde ao cenário real e base do estudo, onde foi utilizado filamento de plástico virgem durante a produção. O cenário 2 corresponde ao processo da fabricação das máscaras a partir do uso do filamento feito de um

mix de plásticos reciclados. Por fim, o cenário 3 refere-se à produção das máscaras a partir do uso do filamento feito de plástico de PET reciclado. Os cenários 2 e 3 são simulados.

A coleta dos dados se deu por meio de visitas ao Laboratório Makers na Universidade e observação do processo de produção das máscaras na impressora 3D. Além disso, foram realizadas entrevistas com o responsável pelo projeto que descreveu todas as etapas do processo produtivo e forneceu todos os dados e informações para a realização da pesquisa.

Através das observações e entrevistas foi possível realizar a modelagem do sistema, delimitar o escopo do projeto e obter os dados para a elaboração do inventário.

Os dados primários foram coletados a partir do questionário de pesquisa, e de dados documentais do laboratório Makers do Campus Jandaia do Sul.

Os dados secundários, principalmente os do inventário de processos não elementares dos ciclos de vida foram obtidos do Banco de dados Ecoinvent do Software SimaPro 9.

3.2 Método de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV)

Para relacionar os resultados obtidos no inventário com os diferentes impactos ambientais se faz necessário a utilização de uma metodologia. A fim de realizar a Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV) a metodologia usada neste trabalho é a ReCiPe, de origem Holandesa, foi desenvolvida em 2008 por meio de uma cooperação entre RIVM, Radboud University Nijmegen, Leiden University e PRé Sustainability.

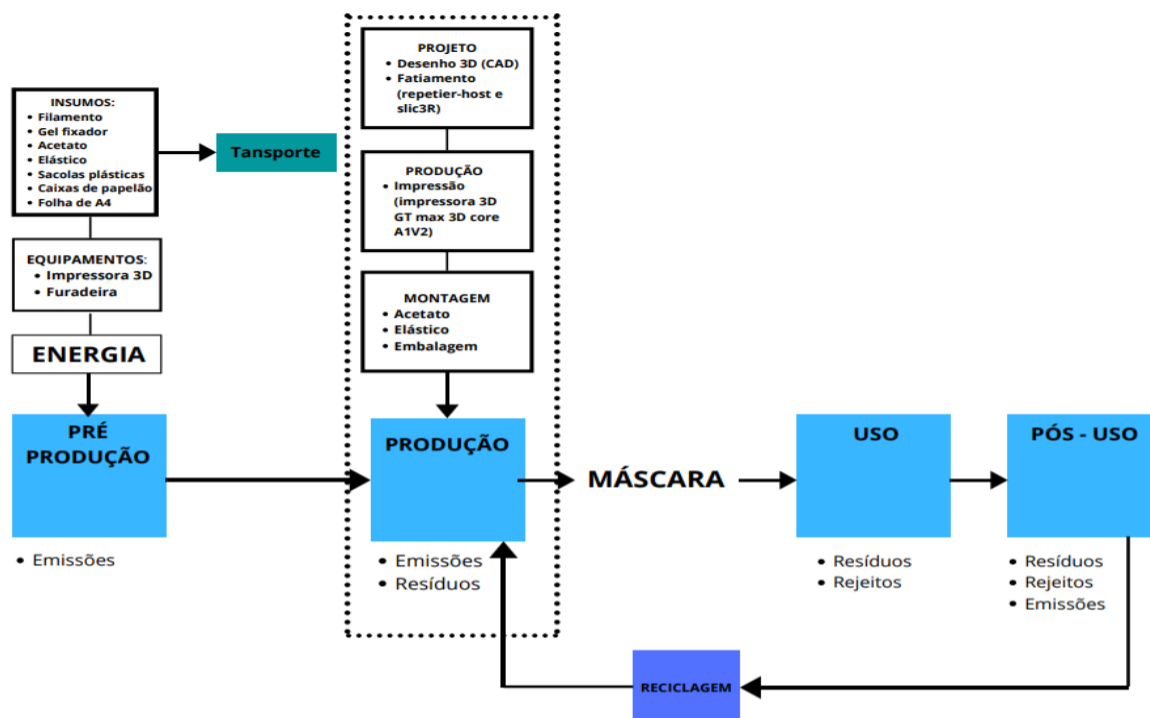
Esta metodologia tem como objetivo principal converter uma longa lista de resultados do inventário do ciclo de vida em um número limitado de pontuações de indicadores. Essas pontuações do indicador apontam a gravidade relativa na categoria de impacto ambiental (GOLSTEIJN, 2012).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para uma melhor análise do processo foi realizada a modelagem do sistema, como mostra a figura 2. Nela é possível observar como se dá o ciclo de vida desde a pré-produção, produção, uso e pós-uso das máscaras. O escopo do projeto está delimitado a produção das máscaras.

A fronteira geográfica compreende os dados de produção obtidos no Laboratório Makers e a fronteira temporal compreende a coleta de dados realizada de agosto a setembro de 2020. Para o estudo foi utilizado a quantidade de 7185 máscara, quantidade produzida pelo laboratório no período de março a dezembro de 2020. A escolha dessa quantidade foi feita em função de seu uso ser representativo para todas as etapas do ciclo de vida da mesma. A quantidade de filamento utilizado para a análise foi de 90 kg.

Figura 2 – Modelagem do ciclo de vida da máscara



Fonte: A autora (2021)

4.1 Inventário

A fase do inventário consiste na compilação de dados de entrada e saída relacionados ao sistema do produto, para isso foi utilizado o software SimaPro. Esta etapa consiste na coleta e cálculo dos dados visando quantificar todas as variáveis como matéria-prima, energia, transporte, emissões, resíduos, entre outros. No quadro 1 é apresentada as quantidades e as fases do inventário do Ciclo de Vida da produção de máscaras faciais de 7185 máscara.

Quadro 1 – Inventário da produção de Máscaras Faciais em Impressoras 3D

Material	Valor	Unidade	Origem	Fase
Entradas				
Transporte Curitiba x Jandaia do Sul	34,578	tkm	Ecoinvent 3 com adaptações	Transporte
Transporte Londrina x Jandaia do Sul	6,758	tkm	Ecoinvent 3 com adaptações	Transporte
Transporte Aterro x Universidade	1,0152	tkm	Ecoinvent 3 com adaptações	Transporte
Elástico	13	kg	Ecoinvent 3 com adaptações	Produção
Filamento de plástico ABS	90	kg	Criação	Produção
Acetato	90	kg	Criação	Produção
Sacola plástica	22,5	kg	Ecoinvent 3 com adaptações	Embalagem
Papel sulfite	13,5	kg	Ecoinvent 3 com adaptações	Embalagem
Caixa de papelão	24,48	kg	Ecoinvent 3 com adaptações	Embalagem
Eletricidade	15866,88	kWh	Ecoinvent 3 com adaptações	Energia Elétrica

Fonte: A autora (2021)

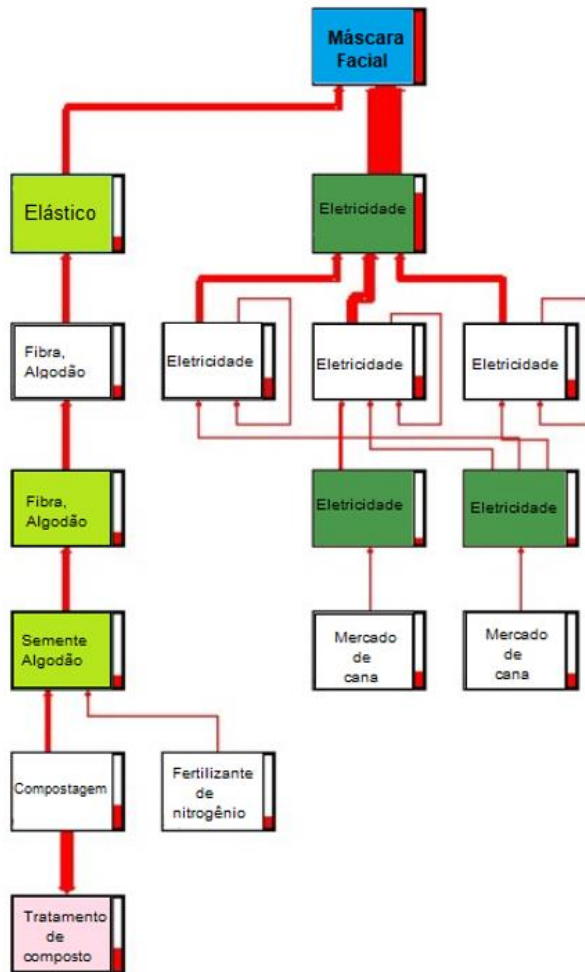
4.2 Caracterização da AICV e comparação dos Cenários

O cenário 1 é tido como o cenário base e compreende a fabricação das máscaras de proteção facial utilizando o filamento de plástico virgem ABS. Uma vez que foi obtida a tabela de inventário, que classifica as cargas ambientais em diferentes categorias de impacto para posteriormente ser aplicado os fatores de caracterização, o SimaPro estrutura o ciclo de vida do sistema de produção por meio de uma árvore de fluxos, através dela é possível observar todos os processos envolvidos até chegar ao produto final, como pode ser observada na Figura 3.

Os inventários dos insumos da produção de Máscaras Faciais foram inseridos e adaptados à realidade brasileira no Software SimaPro 9 e o método ReCiPe 2016 foi utilizado para quantificar e avaliar os impactos ambientais.

Por meio do Tabela 1 é possível observar que no cenário 1 as principais categorias de impacto afetadas pelo processo de fabricação a partir do filamento de plástico virgem. Em relação aos danos à saúde humana, é possível observar que formação de material particulado fino, aquecimento global (saúde humana) e toxicidade humana não cancerígena possuem os maiores valores totais. Além disso, ao observar os danos ao ecossistema, as categorias mais prejudicadas são: uso de terra, aquecimento global (ecossistema terrestre) e acidificação terrestre. Olhando, também, para a categoria danos aos recursos naturais, é possível ver que, esta é a mais prejudicada das categorias e que, escassez de recurso fóssil e escassez de recurso mineral são altamente prejudicados.

Figura 3 - Modelagem da árvore de fluxos



Fonte: SIMAPRO (2021)

No que se refere a análise comparativa entre os cenários 1, 2 e 3, é possível observar por meio da tabela 1 que a metodologia Recipe demonstra que o cenário 1, que representa as máscaras produzidas pelo filamento de plástico virgem, tem mais impactos ambientais quando comparado aos cenários 2 e 3, que representam uma alternativa de produção de máscaras com filamento a partir da reciclagem de um mix de plásticos e filamento a partir da reciclagem de garrafas PET. Dentre as categorias mais representativas, observa-se: toxicidade humana não cancerígena, eco toxicidade água doce, eco toxicidade água marinha, escassez de recurso mineral e escassez de recurso fóssil.

Tabela 1 - Análise comparativa de AICV dos cenários 1, 2 e 3

Categoria de impacto	Unidade	Máscara com PET reciclado	Máscara com mix de plástico reciclado	Máscara com plástico virgem
Aquecimento global (saúde humana)	DALY	0,00196022	0,002151421	0,003325057
Destruição do ozônio estratosférico	DALY	5,54905E-06	5,54338E-06	5,69646E-06
Radiação ionizante	DALY	1,88283E-06	2,03419E-06	2,32351E-06
Formação de ozônio (saúde humana)	DALY	3,339E-06	3,57954E-06	6,05614E-06
Formação de material particulado fino	DALY	0,002570004	0,002853449	0,003735838
Toxicidade humana cancerígena	DALY	3,7149E-05	8,69329E-05	0,00020018
Toxicidade humana não cancerígena	DALY	-3,10446E-05	0,000171174	0,000357879
Consumo de água	DALY	4,40229E-05	5,23485E-05	7,73987E-05
Aquecimento global (ecossistema terrestre)	species.yr	5,90978E-06	6,48678E-06	1,00293E-05
Aquecimento global (ecossistema aquático)	species.yr	1,61495E-10	1,77257E-10	2,73983E-10
Formação de ozônio (ecossistema terrestre)	species.yr	4,82144E-07	5,08955E-07	8,86741E-07
Acidificação terrestre	species.yr	3,03332E-06	3,15565E-06	3,90506E-06
Eutrofização da água doce	species.yr	1,0724E-07	1,91091E-07	3,34947E-07
Eutrofização da água marinha	species.yr	2,26446E-09	2,283169E-09	2,33376E-09
Ecotoxicidade terrestre	species.yr	9,11375E-10	2,24714E-08	6,4588E-08
Ecotoxicidade água doce	species.yr	-2,07561E-08	5,87545E-09	3,89331E-08
Ecotoxicidade água marinha	species.yr	-4,95461E-09	2,37454E-10	6,77649E-09
Uso de terra	species.yr	0,000124613	0,000124387	0,00012573
Consumo de água (ecossistema terrestre)	species.yr	1,2141E-06	1,25033E-06	1,41924E-06
Consumo de água (ecossistema aquático)	species.yr	9,26021E-10	9,05065E-10	9,36715E-10
Escassez de recurso mineral	USD2013	-0,210207712	0,333161765	1,205015217
Escassez de recurso fóssil	USD2014	-14,0459967	-48,43892717	273,2095406

Fonte: A autora (2021)

Conforme pode ser observado na Tabela 2, essas categorias de impacto refletem a danos à saúde humana e danos do ecossistema, mas principalmente aos danos causados aos recursos naturais e isso se deve ao fato de que, quando não há reciclagem do plástico, este é lançado aos oceanos. Por isso que, quando os cenários 2 e 3 que trabalham com a reciclagem de um mix de plásticos e a reciclagem de garrafas PET para ser reutilizado como filamento para a produção das máscaras são analisados, tem-se ainda menos impacto para o meio ambiente.

Tabela 2 – Categoria de danos cenários 1, 2 e 3

Categoria de danos	Unidade	Máscara com PET reciclado	Máscara com mix de plástico reciclado	Máscara com plástico virgem
Saúde humana	DALY	0,004591121	0,005326483	0,00771043
Ecossistema	species.yr	0,000135338	0,000136012	0,000142419
Recursos naturais	USD2013	-14,25620441	-48,10576541	274,4145558

Fonte: A autora (2021)

Substituir o uso do filamento de plástico virgem por filamento de plástico reciclado no processo de produção das máscaras faciais através da manufatura aditiva é uma alternativa eficiente para diminuir os impactos ambientais que esse processo causa ao meio ambiente.

De acordo com Huang et al. (2013, Apud VEIT, 2018) o processo de manufatura aditiva ao contrário dos processos convencionais cria a forma final adicionando materiais. Um processo em que o material é adicionado ao invés de removido, resulta em menos desperdício, menos contaminação e menores custos de produção (CASAGRANDE, 2013). Diante disso, quando um processo de manufatura aditiva está aliado a um processo de reciclagem os resultados relacionados a diminuição de impactos ambientais são ainda maiores.

O plástico por sua vez, quando não passa pelo processo de reciclagem é descartado em oceanos, aterros sanitários e lixões a céu aberto. A poluição causada pelo plástico afeta a qualidade do ar, contamina o solo e polui aquíferos, corpos d'água e reservatórios. Efeitos como esses em relação a natureza puderam ser observados no cenário 1, que utiliza o filamento de plástico virgem no processo produtivo e que possui a categoria de recursos naturais como a mais afetada por não contar com a reciclagem do plástico.

Por mais que em um processo de produção existam insumos necessários e indispensáveis e que causam impactos ao meio ambiente, como é o caso da eletricidade e do transporte, reciclar ainda é uma das alternativas para lidar com materiais que precisam de uma destinação após seu consumo. Por meio dos cálculos realizados nos cenários 2 e 3 que tem como características em comum a substituição do uso do filamento virgem pelo uso do filamento reciclado, fica evidente que, optar por um material que não é extraído da natureza e sim reaproveitado após já ter sido usado gera resultados positivos e contribui de forma considerável com o meio ambiente.

É cada vez mais importante que as empresas estejam cientes de que são parte integrante do mundo e não apenas consumidor dele e isso implica na utilização dos recursos naturais com qualidade e não em quantidade (WWF BRASIL, 2020).

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os impactos ambientais gerados pelo filamento de plástico utilizado na fabricação de máscaras de proteção facial para o combate do COVID-19 feitas em impressoras 3D.

A produção de Equipamentos de Proteção Individual – EPI's se tornou imprescindível com o surgimento da pandemia do Novo Coronavírus. O projeto Jandaia Makers surgiu para atender essa alta demanda de proteção e distanciamentos sociais de profissionais da saúde, defesa civil e outros membros que necessitavam de equipamentos para trabalhar na linha de frente no combate da pandemia. O projeto foi de suma importância, pois levou equipamentos para diversos municípios e estados e contribuiu com a segurança dos profissionais.

O estudo mostrou a modelagem do processo produtivo de máscara faciais a partir de impressoras 3D considerando todo o ciclo de vida do sistema de produção a partir de uma árvore de fluxos, onde foi possível observar todos os processos envolvidos até chegar ao produto final. Destacando que, o uso de Energia Elétrica teve uma importante contribuição nos impactos ambientais em todo o ciclo de vida.

O estudo elaborou um inventário de ciclo de vida da produção aditiva de máscaras faciais, com dados de matéria-prima, energia, transporte, emissões e resíduos que podem servir de base para outros estudos de ACV que utilizem filamentos plásticos. Através do inventário foi possível identificar e quantificar a energia e materiais utilizados, além das descargas para o meio ambiente.

O estudo também mostrou uma comparação dos impactos ambientais quando são utilizados filamentos virgem e reciclados. Os resultados encontrados evidenciam que, a utilização de filamento reciclado durante a produção aditiva das máscaras ajuda a diminuir os impactos ambientais, principalmente nas categorias de recursos naturais e saúde humana. Além disso, é importante ressaltar que, ações destinadas a proteger o meio ambiente e a conscientizar sobre a importância de cuidá-lo tem efeitos positivos na sociedade.

Também é importante destacar que, os custos financeiros para lidar com os prejuízos ambientais causados pelos resíduos plásticos geram gastos para a comunidade e precisam ser administrados por órgãos públicos. Assim, buscar por adequações que ajudem a produzir gastando menos energia e gerando menos resíduos é um dos grandes desafios e a manufatura aditiva é uma alternativa.

6. Referências Bibliográficas

Aubrey L. Woern, Joseph R. McCaslin, Adam M. Pringle, and Joshua M. Pearce. RepRapable Recyclebot: Open Source 3-D Printable Extruder for Converting Plastic to 3-D Printing Filament. *HardwareX* 4C (2018) e00026 doi: <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2018.e00026> open access

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

Baechler, M. DeVuono, J.M. Pearce, Distributed recycling of waste polymer into RepRap feedstock, *Rapid Prototyping J.* 19 (2) (2013) 118–125.

COLTRO, Leda. **Avaliação de ciclo de vida como instrumento de gestão**. Campinas: CETEA/ITAL, 2007.

CURRAN, Mary Ann. Life Cycle Assessment: An International Experience. **Environmental Progress**, Cincinnati, v. 19, n. 2, p. 65-71, jun. 2000.

CASAGRANDE, Marcus V. S. **Projeto De Um Cabeçote De Extrusão De Uma Máquina De Prototipagem Rápida FDM**. 2013. 111p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Evolução Histórica da Sustentabilidade e da Responsabilidade Social Corporativa © WWF-Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/participe/porque_participar/sustentabilidade/>. Acesso em: 10 de agosto de 2020.

GARCIA, Luis Hilário Tobler. Desenvolvimento e fabricação de uma mini impressora 3D para cerâmicas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2010.

GUINÉE, Jeroen B. et al. Life cycle assessment: past, present, and future. *Environmental Science & Technology*, Easton, v. 45, n. 1, p. 90-96. 2011.

Kreiger, G.C. Anzalone, M.L. Mulder, A. Glover, J.M. Pearce, Distributed recycling of post-consumer plastic waste in rural areas, *MRS Online Proceedings Library Archive* 1492 (2013) 91–96.

Kreiger, M; Mulder, M. A.G. Glover, A; Pearce, J. Life cycle analysis of distributed recycling of post-consumer high density polyethylene for 3-D printing filament, J. Cleaner Prod. 70 (2014) 90–96.

OLIVEIRA, Jéssica Machado de. **CARACTERIZAÇÃO DE PEÇA EM AÇO INOX 316L FABRICADA POR MANUFATURA ADITIVA (DMLS)**. 2019. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

SILVA, Diogo A. L. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. 2012. 207 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

SEO, Emilia S. M.; KULAY, Luiz A. Avaliação do ciclo de vida: ferramenta gerencial para tomada de decisão. InterfacEHS – **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, São Paulo, v.1, n.1, ago. 2006.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Life cycle assessment: principles and practice. Cincinnati: 2006.

UFPR – Rede combate covid-19. Disponível em: <<https://redecovid.ufpr.br/portal/>>. Acesso em 15 de setembro de 2020.

VEIT, Douglas Rafael. **IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NOS SISTEMAS PRODUTIVOS E SUAS REPERCUSSÕES NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS**. 2018. 341 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, 2018.

Recyclebot (2018). Appropedia. <http://www.appropedia.org/Recyclebot> (accessed 12.052020).

Zhong, S.; Pearce, J.; Tightening the loop on the circular economy: coupled distributed recycling and manufacturing with recyclebot and RepRap 3-D printing, Resour. Conserv. Recycl. 128 (2018) 48–58.