

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA DO CAMPUS DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA

FELIPE STRINGA MOREIRA

**Avaliação do Ciclo de Vida de um Corpo de Prova de Aço Maraging 300 para a Indústria
Aeronáutica**

São João da Boa Vista

2022

Felipe Stringa Moreira

**Avaliação do Ciclo de Vida de um Corpo de Prova de Aço Maraging 300 para a Indústria
Aeronáutica**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Aeronáutica do Campus de São João da Boa Vista, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Aeronáutica .

Orientador: Profº Dr. Julian Arnaldo Avila Diaz
Coorientador: Profº Dr. José Augusto de Oliveira

São João da Boa Vista
2022

M838a Moreira, Felipe Stringa
Avaliação do ciclo de vida de um corpo de prova de aço maraging
300 para a indústria aeronáutica / Felipe Stringa Moreira. -- São João
da Boa Vista, 2022
66 p. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia
Aeronáutica) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de
Engenharia, São João da Boa Vista
Orientador: Julian Arnaldo Avila Diaz
Coorientador: José Augusto de Oliveira

1. Ciclo de vida do produto. 2. Usinagem. 3. Aço. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Engenharia, São João da Boa Vista. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AERONÁUTICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UM CORPO DE PROVA DE AÇO
MARAGING 300 PARA A INDÚSTRIA AERONÁUTICA**

Aluno: Felipe Stringa Moreira
Orientador: Prof. Dr. Julian Arnaldo Avila Diaz

Banca Examinadora:

- José Augusto de Oliveira (Coorientador)
- Alessandro Firmino (Examinador)
- Mirian Paula dos Santos (Examinador)

A ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no prontuário do aluno (Expediente nº 045/2021)

São João da Boa Vista, 14 de março de 2022

DADOS CURRICULARES

FELIPE STRINGA MOREIRA

NASCIMENTO 08/03/1998 - Itu / SP

FILIAÇÃO Luiz Gustavo Moreira
Aparecida Stringa Moreira

Aos meus pais, Aparecida e Luiz Gustavo, que nunca mediram esforços para prover o melhor para seus filhos. E ao meu irmão mais velho, Erick, que em pouco tempo me ensinou tanto sobre a vida.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientado, Prof. Dr. Julian Arnaldo Avila Diaz, pelo incentivo, competência, dedicação e paciência.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. José Augusto de Oliveira, pela contribuição e disposição com este trabalho.

Aos professores do Departamento de Aeronáutica da Faculdade de Engenharia do Campus de São João da Boa Vista pelo constante incentivo.

A Eng. MSc. Alessandro Silveira Firmino pela dedicação, paciência e contribuição a este trabalho.

A Ana Larissa Melo Feitosa da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pelas contribuições relativas à caracterização microestrutural aço maraging.

Ao Prof. Dr. Reginaldo Coelho, Prof. Dr. Marcelo Falcão, Dr. Fabio Mariani e Douglas Bon, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, que disponibilizaram equipamentos e forneceram informações valiosas para o resultado deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Hamilton Ferreira Gomes de Abreu da Universidade Federal do Ceará pela doação da amostra de aço maraging 300 forjado.

Ao Prof. Dr. Piter Gargarella da Universidade Federal de São Carlos pelo conhecimento compartilhado do processo de ligas por manufatura aditiva.

A minha namorada Gabrieli pelo incentivo, paciência e por me acompanhar nos momentos mais difíceis.

Por fim, aos meus amigos aos quais convivi nestes poucos anos e que me inspiram a me tornar uma pessoa melhor.

Este trabalho contou com o apoio da(s) seguinte(s) entidade(s):

Processo nº 2019/24990-6, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)

*“Foi o tempo que perdeu com sua rosa o que fez dela uma rosa tão importante.”
(Antoine de Saint-Exupéry)*

RESUMO

O aço Maraging foi projetado nos anos 50, com o intuito de fornecer um material para a fabricação de envelopes motores para foguetes de grande porte. Assim, este aço apresenta altíssima resistência (entre 1800 e 2200 MPa) com alta tenacidade à fratura. Portanto, a aplicabilidade na indústria aeronáutica e de telecomunicação é de grande valia. Os processos atuais de Manufatura Subtrativa (MS) possibilitaram a sua aplicação desde trens de pouso de aviões, fabricação de moldes de injeção e peças para usinas nucleares. Embora este aço exista há vários anos no mercado, e o desenvolvimento metalúrgico e de fabricação estejam bem estabelecidos, pouco se conhece sobre os impactos ambientais da fabricação de peças. O intuito deste trabalho foi avaliar os impactos ambientais do uso desta MS na fabricação de peças no aço Maraging 300. A avaliação dos impactos ambientais foi realizada pela técnica Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) com um sistema de produto *cradle-to-gate*, apoiada na metodologia UPLCI. Obteve-se como resultado cenários de melhoria de processo e comparativos com os resultados de outros trabalhos sobre o processo de Manufatura Aditiva (MA), em específico com o método de Fusão em Leito de Pó Usando Laser (L-FLP). Então, determinados os principais fatores ambientais envolvidos neste método de fabricação, desde a produção da matéria prima até o acabamento das peças, pode-se dizer que, em larga escala, a manufatura convencional apresenta melhor desempenho ambiental, por ser um processo mais empregado e, neste caso, o maquinário ser mais eficiente. Este resultado provém da análise da matriz energética brasileira, composta principalmente por hidroelétricas, contudo nas indústrias onde este material é aplicado são utilizadas poucas peças, um atrativo econômico para o processo de manufatura aditiva, onde se tem menor perda de material.

PALAVRAS-CHAVE: avaliação de ciclo de vida; aço maraging 300; manufatura subtrativa;

ABSTRACT

The maraging steel was designed in the 50's seeking to produce a steel for rocket engine envelopes for large sizes. Thus, this steel depicts ultra-high mechanical resistance (1800 – 2200 MPa) and high mechanical toughness. Therefore, this steel can be applied in the aerospace and telecommunication industries. The current subtractive processes accept the application of this steel in landing gears of big planes, injection moulding dies and parts in the nuclear plants. Even though this steel exists several years ago in the market, and their metallurgical understanding is well-established, few is known about the environmental impacts in the part fabrication. This study aims to assess the environmental and production impacts of the subtractive manufacturing (SM) of Maraging 300 steel parts. The environmental impacts will be conducted using the life cycle assessment (LCA) and a cradle-to-gate approach. We expect to depict the main environmental factors regarding the parts fabrication using SM, since the raw material to parts machining, and suggest alternatives to improve the environmental performance of this process and suggest alternatives for environment improvement. This study is based on UPLCI methodology and got a major result comparing to one additive manufacturing method (AM), Laser Based Powder Bed Fusion (L-PBF). Since ambient hotspots were obtained could be compared when is right to choose material deposition or removal. Both methods have their hotspot on electricity consumption, this results comes from Brazilian energy matrix which is mostly from hydropower.

KEYWORDS: life cycle assessment; maraging steel 300; machining;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Fluxograma para o sistema de produto	20
Figura 2	Exemplo de estudo de AICV	22
Figura 3	Fluxograma da construção do ICV	23
Figura 4	Relação entre fases da ACV	24
Figura 5	Visão geral da metodologia <i>UPLCI</i> pelo modelo <i>CO₂PE!</i>	25
Quadro 1	Principais bancos de dados para ACV	26
Quadro 2	Principais <i>softwares</i> para ACV	27
Quadro 3	Principais métodos de AICV	27
Figura 6	Quantidade de publicações por palavras-chave	28
Figura 7	Forno Jung LF07013 - UNESP SJBV	30
Figura 8	Forno EDG FC-I 6600W - UNICAMP	31
Figura 9	Alicate Amperímetro Minipa ET-3200A	32
Figura 10	Amostra de Aço Maraging 18%Ni 300	33
Figura 11	Desenho do corpo de prova	33
Figura 12	Fronteiras do sistema	34
Figura 13	Relações entre as subunidades do sistema	34
Figura 14	Curva de consumo de potência do forno Jung	35
Quadro 4	Métodos de AICV disponíveis no <i>Gabi</i> Estudantil	36
Figura 15	Sistema de produto avaliado	38
Figura 16	Consumo Elétrico - Centro de Usinagem	40
Figura 17	Curvas de Consumo Elétrico - Forno da UNICAMP	40
Figura 18	Comparação microestrutural aço forjado e impresso	42
Figura 19	Comparação microestrutural aço tratado termicamente	43
Figura 20	Comparação de dureza aço tratado termicamente	43
Figura 21	Comparação de escoamento do aço forjado e impresso	44
Figura 22	Comparativo de rugosidade do aço forjado e impresso	45
Figura 23	Sistema de produto simplificado	46
Figura 24	Modelo da fabricação da liga de aço	48
Figura 25	Modelos no <i>software GaBi</i>	48
Figura 26	Potencial de Mudanças Climáticas	49
Figura 27	Potencial de Material Particulado	49
Figura 28	Potencial de Depleção Fóssil	50
Figura 29	Potencial de Consumo de Água Doce	50
Figura 30	Potencial de Ecotoxicidade de Água Doce	51
Figura 31	Potencial de Eutrofização de Água Doce	51
Figura 32	Potencial de Toxicidade Humana, cancerígena	52
Figura 33	Potencial de Toxicidade Humana, não-cancerígena	52

Figura 34	Potencial de Radiação Ionizante	53
Figura 35	Potencial de Ecotoxicidade Marinha	53
Figura 36	Potencial de Eutrofização Marinha	54
Figura 37	Potencial de Depleção de Metal	54
Figura 38	Potencial de Acidificação Terrestre	55
Figura 39	Potencial de Ecotoxicidade Terrestre	55
Figura 40	Contribuição de cada etapa para AICV - Tratamento Térmico para 1 peça . . .	57
Figura 41	Contribuição de cada etapa para AICV - Tratamento Térmico para 317 peças . .	58
Figura 42	Contribuição de cada etapa para AICV - Manufatura Aditiva	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Equipamentos utilizados para transformar o material	30
Tabela 2 – Equipamentos utilizados para medições e estimativas	30
Tabela 3 – Composição química da amostra (%)	34
Tabela 4 – Estudo de Tempo das Etapas - Normalizado por número de amostras	39
Tabela 5 – Estudo de Potência das Etapas	39
Tabela 6 – Consumo de Eletricidade das Etapas - Normalizado por número de amostras	39
Tabela 7 – ICV - Fabricação da liga de aço	41
Tabela 8 – ICV - Processos de remoção de material (MS e Acabamento Superficial)	41
Tabela 9 – ICV - Tratamento térmico	41
Tabela 10 – Resultados do ensaio de tração	44
Tabela 11 – Resultados médios de rugosidade	45
Tabela 12 – Valores de Potencial de Impacto Ambiental	47
Tabela 13 – Valores de Potencial de Impacto Ambiental com TT Normalizado	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas técnicas
ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida
AM	<i>Additive Manufacturing</i>
CAST	<i>Center for Advanced and Sustainable Technologies</i>
CNC	Comando Numérico Computadorizado
CO ₂ PE!	<i>Cooperative Effort on Process Emissions</i>
CP	Corpo de Prova
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
IRP	<i>International Resource Panel</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
LCI	<i>Life Cycle Inventory</i>
LCIA	<i>Life Cycle Impact Assessment</i>
L-FLP	<i>Laser - Fusão em Leito de Pó</i>
L-PBF	<i>Laser Based Powder Bed Fusion</i>
MA	Manufatura Aditiva
MS	Manufatura Subtrativa
ONU-WCED	<i>United Nations World Commission on Environment and Development</i>
SAF	<i>Sustainable Aviation Fuel</i>
SJBV	São João da Boa Vista
SLM	<i>Selective Laser Melting</i>
SM	<i>Subtractive Manufacturing</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TT	Tratamento Térmico

UPLCI *Unit Process Life Cycle Inventory*

UNESP Universidade Estadual Paulista

UNICAMP Universidade Estadual de Campinas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	17
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo Geral	18
1.2.2	Objetivos Específicos	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV)	19
2.2	METODOLOGIA DA ACV	19
2.3	METODOLOGIA <i>UPLCI</i>	24
2.4	<i>SOFTWARES</i> DE ACV	25
2.5	ACV EM PROCESSOS DE MANUFATURA	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	MATERIAIS	30
3.2	MÉTODOS	31
3.2.1	Unidade Funcional e Fronteiras do Sistema	31
3.2.2	Inventário de Ciclo de Vida (ICV)	33
3.2.3	Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida (AICV)	36
3.2.4	Interpretação da ACV	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	RESULTADOS DO ESTUDO DE TEMPO	38
4.2	RESULTADOS DO ESTUDO DE POTÊNCIA	39
4.3	RESULTADOS DO ESTUDO DE MASSA	40
4.4	ICV CONSOLIDADO	41
4.5	RESULTADO DA AICV	42
4.5.1	Análise do Escopo	42
4.5.1.1	Resultados Microestruturais	42
4.5.1.2	Ensaio de Tração	44
4.5.1.3	Ensaio de Rugosidade	45
4.5.2	AICV E INTERPRETAÇÃO DA ACV	46
5	CONCLUSÃO	60
	REFERÊNCIAS	61
	APÊNDICE A – PLANILHA DE ESTUDO DE TEMPO E POTÊNCIA	64

ANEXO A – LAUDO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA AMOSTRA FOR- JADA UTILIZADA NA MANUFATURA SUBTRATIVA	65
ANEXO B – LAUDO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA AMOSTRA FA- BRICADA POR MANUFATURA ADITIVA	66

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O aço Maraging 300 permite ser tratado termicamente para obter uma excelente combinação de dureza e resistência mecânica, fornecendo boas propriedades mecânicas (SSA-CORP., 2018). Segundo CARTER (1969) e posteriormente mostrado por LIMA FILHO; BARROSA; ABREU (2016), dependendo das condições de aplicação dos tratamentos térmicos do aço Maraging, é possível obter grande variação de tenacidade sem grandes alterações de resistência mecânica, dureza ou microestruturas cuja origem vem das mudanças na formação de fases intermetálicas durante os tratamentos térmicos de envelhecimento e da complexidade relacionada aos elementos de liga. As suas principais aplicações são em aeronaves, estruturas em geral e moldes metálicos e, portanto, alta tenacidade e alta resistência mecânica deverão ser garantidas nas condições de uso. O aço Maraging nasceu na necessidade de fornecer um material para a fabricação de envelopes motores para foguetes de grande porte (HALL; CAMPBELL, 1964) (HALL; SLUNDER, 1968). Desde os anos 50 até tempos recentes, sua fabricação é pesquisada e aprimorada, com melhoras no desenho da liga, fundição, conformação, soldagem (KIM; LEE, 2018), usinagem (FORTUNATO et al., 2018), tratamentos térmicos intercríticos e de envelhecimento (LI et al., 2015) e, propriedades mecânicas (ZHANG et al., 2018). Porém, existe pouca informação sobre os impactos ambientais do processo de Manufatura Subtrativa (MS) ou convencional de peças fabricadas com aços Maraging. Entretanto, os processos convencionais de fabricação de peças e fases seguintes no ciclo de vida compreendem:

1. Produção da matéria prima: fundição da liga;
2. Transformação desta matéria bruta em produtos como chapas ou barras: forjamento, laminação, corte dos perfis/chapas;
3. Manufatura Subtrativa (MS): usinagem das peças;
4. Finalização das peças (opcional): aplicação de tratamentos térmicos intercríticos e envelhecimento;
5. Montagem das peças no projeto mecânico;
6. Período de uso; e
7. Descarte e reciclagem.

Existe uma pressão sobre a indústria aeronáutica, estimulando este setor econômico a buscar inovações e mudanças considerando a sustentabilidade ambiental como um objetivo estratégico para seus processos de tomada de decisão (DALE, 2016) (IATA, 2021)(PIPPPO, 2017). Neste sentido, a indústria aeronáutica mundial se prepara para frentes de ação voltadas à combustíveis sustentáveis (IATA, 2018)(PIPPPO, 2017)(WHITMORE, 2018), à materiais, produtos e manufatura sustentáveis (IATA, 2015)(KLOTZ, 2017), avaliação ambiental (IENVA, 2019), dentre outros focos.

O conceito de Desenvolvimento Sustentável é o "desenvolvimento que atenda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades", definido pela *United Nations World Commission on Environment and Development* (ONU-WCED, 1987). Esse conceito aplicado à manufatura exhibe a necessidade de políticas e projetos que objetivem a redução dos impactos negativos causados pela geração de produtos. Considera-se então o acompanhamento e avaliação dos produtos durante sua fabricação, utilização, descarte e, quando possível, sua remanufatura, reciclagem ou outras estratégias de fim de vida do produto (FIRMINO, 2020).

Neste contexto, surgem ferramentas que possibilitam a comparação de produtos segundo seu desempenho ou eficiência ambiental. Uma dessas ferramentas é a *Life Cycle Assessment* (LCA) ou Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), que é a principal técnica quantitativa para analisar a relevância dos impactos ambientais associados a produtos, processos e sistemas produtivos, possibilitando aos tomadores de decisão adotarem estratégias mitigadoras nos pontos que apresentarem piores resultados (GARCIA, 2018). Apesar dos estudos sobre ACV começarem por volta da década de 60, ganhou força apenas quando os recursos se tornaram mais escassos, segundo um estudo recente na *International Resource Panel* (IRP), conduzido por OBERLE et al. (2019), a extração global anual de materiais aumentou consideravelmente, chegando a triplicar entre os anos de 1970 e 2017, contudo esse aumento que, em média foi de 3 % ao ano, começa a diminuir a partir dos anos 2000 e estabilizar a produção de materiais. Apesar dos esforços para redução dos impactos ambientais negativos, projeta-se que até 2060 o ritmo produtivo seja insustentável, devido ao acoplamento de crescimento econômico e prejuízo ao meio ambiente (OBERLE et al., 2019).

Assim, este trabalho teve por objetivo compreender melhor onde estão os pontos focais do processo de manufatura convencional para o aço Maraging e comparar, do ponto de vista dos impactos ambientais, com o processo de manufatura aditiva afim de discutir qual processo seria melhor em cada cenário.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar os impactos ambientais, valendo-se da ACV, da produção de uma peça usando o aço Maraging pelo processo de MS limitando-se ao sistema *cradle-to-gate*.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os pontos focais ambientais e os fatores impactantes para este tipo de processo produtivo.
- Comparar os resultados com os dados disponíveis sobre o processo de MA.
- Gerar cenários para a proposição de melhorias no desempenho ambiental deste produto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV)

A ACV é definida, de forma simples, como uma metodologia objetiva para avaliar os impactos ambientais intrínsecos ao uso de um produto, serviço ou processo dentro de limites definidos (GARCIA, 2018). O termo “Ciclo de Vida” relaciona-se às fases da vida de um produto, desde seu berço, que inclui a obtenção da matéria prima, seus processos de transformação, utilização, manutenção, disposição final, e em alguns casos estratégias de fim de vida, tais como reciclagem, remanufatura entre outros (QUEIROZ, 2011). Isto é, um instrumento científico qualitativo e quantitativo bem definido que possibilita a comparação de dois ou mais produtos segundo uma norma ou unidade funcional.

Este tipo de estudo é relevante nas indústrias que possuem produção extensiva, como é o caso da aeronáutica, na produção de aeronaves, satélites, drones e futuramente nas soluções de mobilidade urbana através do espaço aéreo. Dessa maneira, empresas podem tomar decisões estratégicas e adotarem processos com menor impacto ambiental. Recentemente as maiores empresas do setor como a Boeing e, no Brasil, a Embraer (VINHOLES; CNN, 2021), publicaram suas metas para o futuro, as quais têm como principal foco a redução da pegada ambiental de seus produtos, buscando alternativas ao combustível convencional de aviação, através do SAF (*Sustainable Aviation Fuel*, ou combustível de aviação sustentável) e futuramente hidrogênio, além disso, no caso da Embraer, retomar estudos de aeronaves turbo-prop, para que voos curtos sejam mais eficientes (EMBRAER, 2021).

2.2 METODOLOGIA DA ACV

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a ACV é uma técnica de avaliação de aspectos ambientais e impactos potenciais que segue uma metodologia clara e objetiva (ABNT-NBR-ISO-14040, 2001) (ABNT-NBR-ISO-14044, 2009), devendo conter:

- a compilação das entradas e saídas em um inventário com limites definidos;
- a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas;
- a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos dos estudos;

Para tanto, a norma NBR ISO 14044 estabelece os princípios e estrutura a serem utilizados para se conduzir uma ACV. São elas:

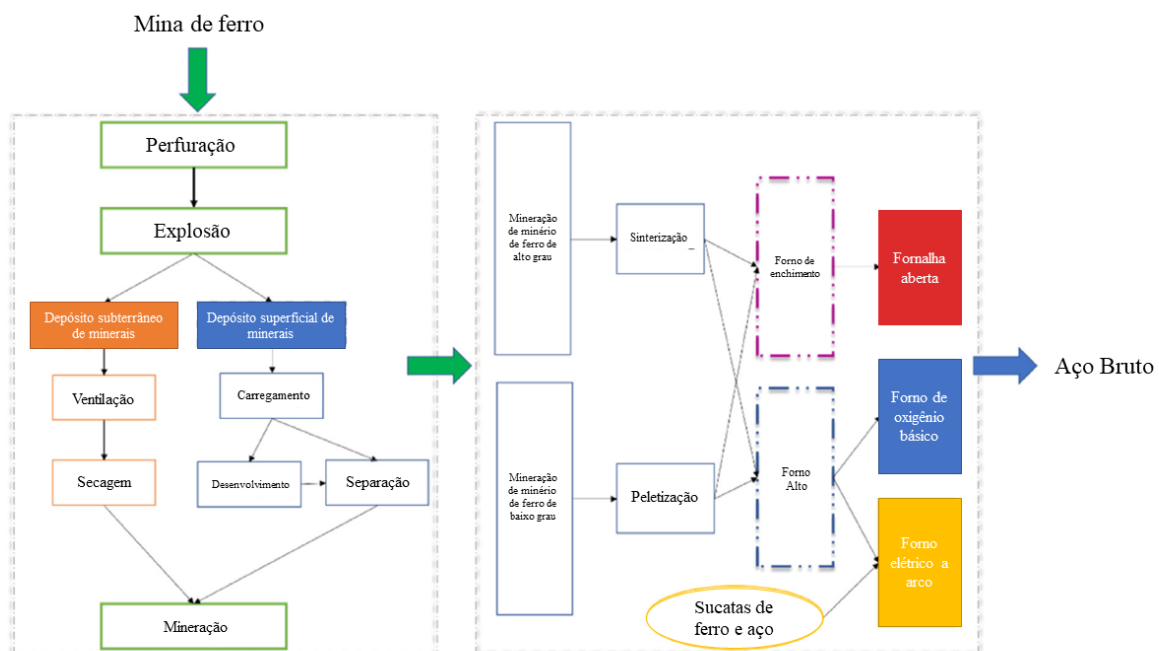
1. Definição de objetivo e escopo

Nesta fase são definidos o escopo e o objetivo de forma clara e consistente com o estudo desejado. Como a ACV pode ser um processo iterativo, essas definições podem sofrer alterações. Contudo nessa etapa é fundamental que se tenha em mente o sistema de produto a ser estudado. Ou seja, as fronteiras da análise, para que não se torne tão extensa ao ponto de não ser possível quantificar

as entradas e saídas de cada processo. Outro ponto importante é como os resultados poderão ser comparados quanto a outros produtos, a escolha de uma unidade normalizada, ou “unidade funcional”, é imprescindível e deve caracterizar o produto quanto a função e desempenho, com propriedades plenamente mensuráveis.

A fronteira do sistema, ou da análise, delimita os processos compreendidos na ACV. Os critérios para seleção de processos dentro dessa fronteira (chamados de processos elementares), devem ser escolhidos de acordo com o nível de detalhamento da ACV, bem como justificada qualquer exclusão dessa fronteira. Logo, torna-se interessante exemplificar o sistema de produto por fluxogramas ou diagramas com os processos elementares e fluxos intermediários (entradas ou saídas entre processos elementares).

Figura 1 – Fluxograma para o sistema de produto



fonte: Adaptado de LIU et al. (2020)

A Figura 1, mostra um sistema de produto da produção de aço e limita o sistema a produção do lingote, ou seja, um sistema de produto do berço (da extração de minério de ferro que é o primeiro fluxo elementar - que ultrapassa a fronteira do sistema) até a fabricação do lingote de aço, passando por diversos processos. Esse sistema pode ser considerado como *cradle-to-gate*, não considera as fases à frente do ciclo de vida do produto. Dessa maneira, fluxogramas como este ajudam a perceber o que o estudo compreende ou não, neste caso as fases de uso, descarte, estratégias de fim de vida ou quaisquer outros processos não são considerados.

2. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida e tipos de impactos

Uma vez definido o escopo, deve-se determinar as categorias de impacto, modelos de caracterização e indicadores que serão incluídos no estudo de ACV (demanda bioquímica de oxigênio, teor total de halogênios, emissões de CO₂, entre outros). Necessita-se dessa etapa para selecionar os

dados que serão coletados e o grau de importância de cada um. O escopo tem influência direta neste momento, a coleta dos dados pode ser da literatura, estimados, obtidos de maneira empírica ou, da melhor forma, ser uma mistura dos anteriores, prevenindo erros genéricos (calibração de equipamento, falha de equipamento, dados viciados da literatura, erros na coleta etc.) e possivelmente aumentando as amostras. Para tanto, a norma NBR ISO 14044 estabelece alguns requisitos:

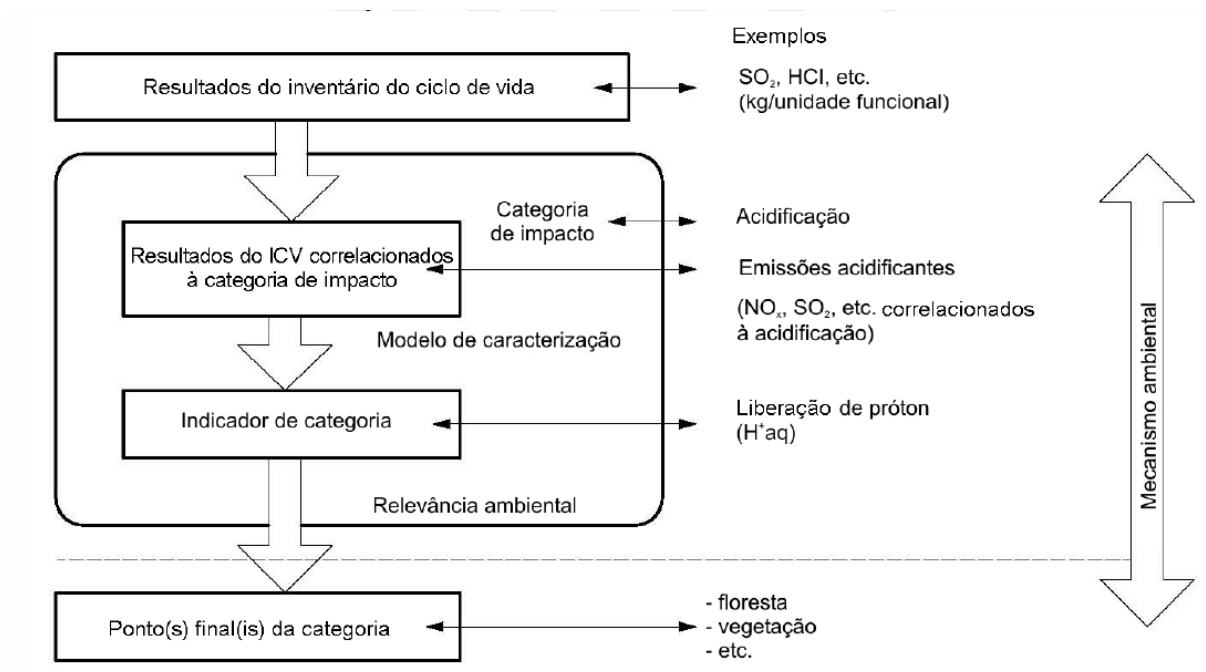
- a) a cobertura temporal: idade dos dados e período mínimo de tempo durante o qual os dados deveriam ser coletados;
- b) a cobertura geográfica: área geográfica a partir da qual deveriam ser coletados dados para processos elementares de modo a satisfazer o objetivo do estudo;
- c) a cobertura tecnológica: tecnologia específica ou conjunto de tecnologias;
- d) a precisão: medida da variabilidade dos valores de dados para cada dado expresso (por exemplo, variância);
- e) a completeza: porcentagem dos fluxos que é medida ou estimada;
- f) a representatividade: avaliação qualitativa do grau em que o conjunto de dados reflete a verdadeira população de interesse (por exemplo, cobertura geográfica, período de tempo e cobertura tecnológica);
- g) a consistência: avaliação qualitativa quanto à aplicação uniforme da metodologia do estudo aos diversos componentes da análise;
- h) a reprodutibilidade: avaliação qualitativa do grau em que as informações sobre a metodologia e os valores dos dados permitiriam a um executante independente reproduzir os resultados relatados no estudo;
- i) as fontes dos dados;
- j) a incerteza da informação (por exemplo dados, modelos e pressupostos).

Qualquer dado, que respeite a norma, seja ele um valor calculado com base nos valores de processos similares, um valor zero ou não-zero adotado, deve ser justificado a fim de comparabilidade e repetibilidade. Convém que os dados sejam caracterizados por aspectos qualitativos e não apenas quantitativos, assim como sejam utilizadas métricas de massa, energia ou significância ambiental.

Pela ACV ter característica iterativa, este é uma fase que deve correr em paralelo a construção do Inventário de Ciclo de Vida (ICV), explicada mais a frente, e através da AICV deve-se decidir se o estudo está caminhando de maneira coerente com os objetivos propostos, correlacionando os resultados do ICV às categorias de impacto selecionadas. Esta análise se torna importante principalmente quando alguns dados que não podem ser calculados como energia ou massa, por exemplo uso de terra (medida de área). Este estará relacionado a uma categoria de impacto, contudo pode ter valor diferente para cada categoria de impacto (recomenda-se a utilização de

unidades reconhecidas internacionalmente, como o escopo é sensível ao método de coleta, é indicado utilizar consensos afim de manter a comparabilidade das ACVs).

Figura 2 – Exemplo de estudo de AICV



fonte: ABNT-NBR-ISO-14044 (2009)

A Figura 2 exemplifica o estudo da AICV, relaciona os itens do ICV com as categorias de impacto e define onde esse impacto ocorrerá (Pontos finais das categorias). Nesse ponto cabe selecionar se o dado é relevante ao estudo, ponderando o processo que ele está presente.

3. Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

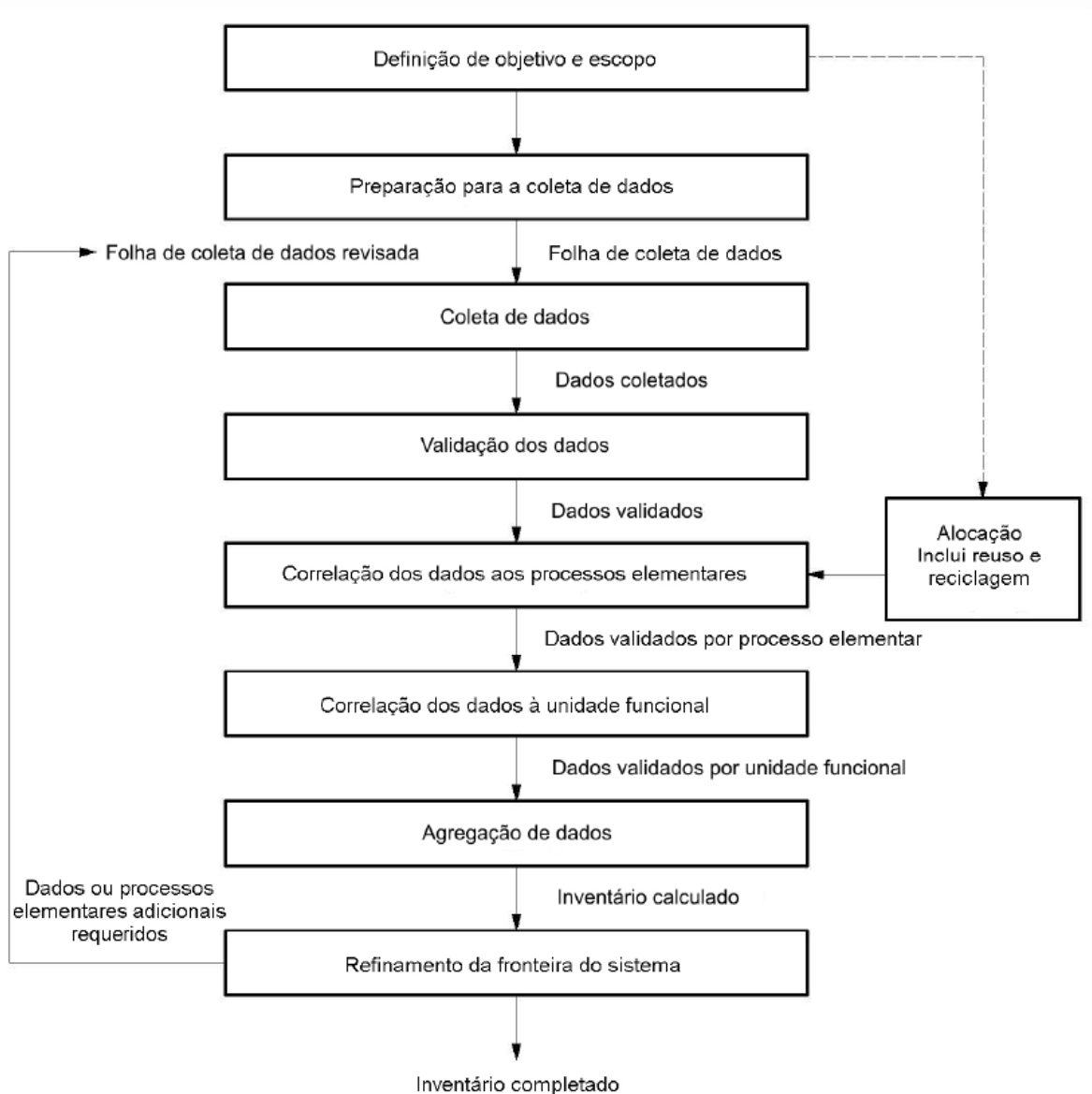
No ICV são armazenados os dados coletados, estimados ou trazidos da literatura para a ACV, são esses os dados utilizados para quantificar as entradas e saídas de um processo elementar. Junto desses dados, cada processo elementar deve possuir uma descrição para que não se calcule um mesmo dado mais de uma vez, muitas vezes há fluxos que são apenas "transportados" pelo processo, sem alteração de sua quantidade.

Nesta etapa são separados os blocos do fluxograma e, para cada processo elementar, quantificam-se as entradas e saídas como fluxos intermediários ou elementares com as condições as quais são submetidos.

A Figura 3 mostra o fluxograma da construção de um ICV genérico, este processo ocorre em paralelo com a AICV para validação e verificação dos dados. É importante lembrar que a folha de coleta de dados (uma tabela separada em entradas e saídas para cada processo) deve representar todas as etapas do processo, sempre que possível. Assim terá maior fidelidade ao processo real, listando todos os recursos que são consumidos.

A natureza iterativa desta etapa permite alterar a sensibilidade da ACV. A cada iteração do ICV é possível refinar as fronteiras do sistema, alterando o escopo mantendo o objetivo e as categorias de impacto pretendidas, resultando em ACVs mais completas. Contudo, complete

Figura 3 – Fluxograma da construção do ICV



fonte: ABNT-NBR-ISO-14044 (2009)

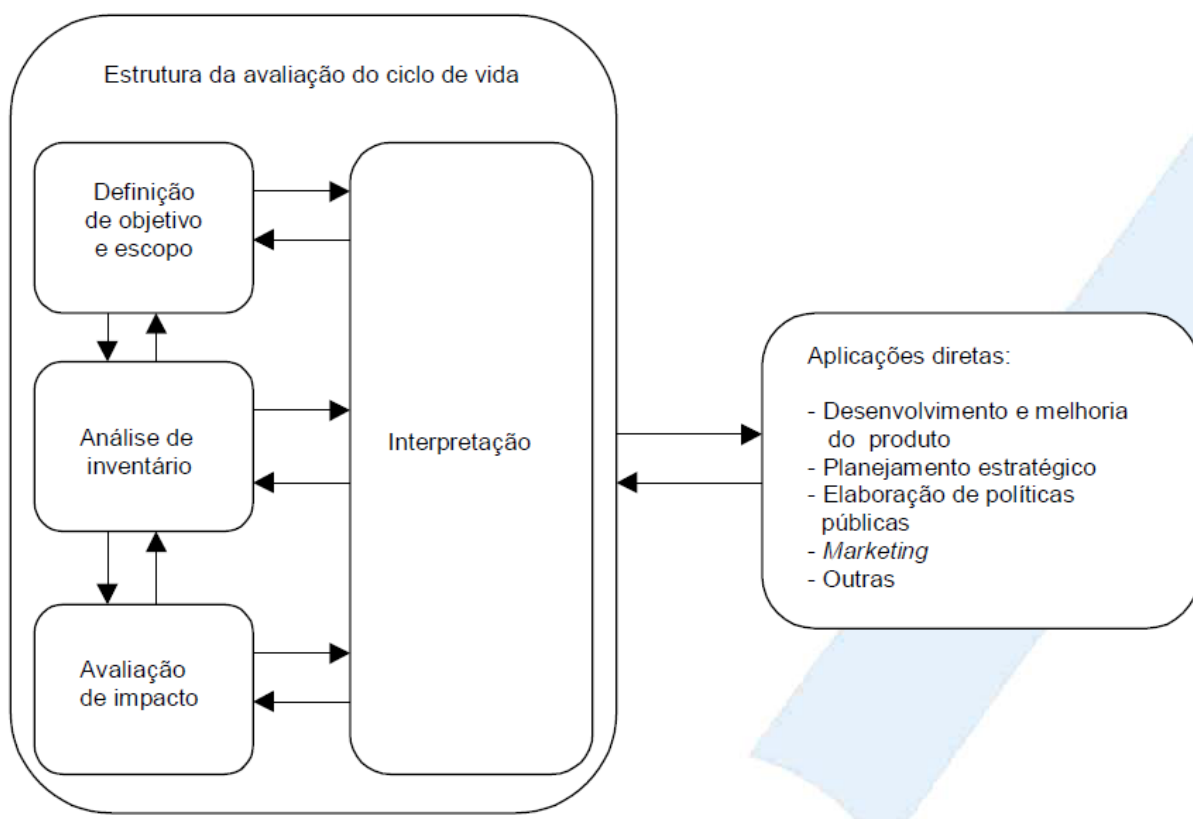
e comparabilidade devem caminhar juntas, é recomendado pela ABNT que esses processos, embora refinados, não devem ser subdivididos pois a divisão pode não ser possível em outras ACVs (estes blocos são chamados de Caixas Pretas ou *Black-Box*). Logo, um dos objetivos dessa técnica é formar uma base de dados para tomada de decisão por meios comparativos e esta característica não pode ser prejudicada. Caso a subdivisão não possa ser evitada convém documentar o motivo e as relações físicas entre cada entrada e saída, para que em outros estudos seja possível alterar ou cortar algum dado de acordo com a unidade funcional ou estudo de AICV.

4. Interpreção e Avaliação do Ciclo de Vida

Ao final das etapas anteriores há necessidade da avaliação dos resultados obtidos, dos critérios adotados e verificar se os objetivos foram atingidos de maneira adequada. A interpretação dos resultados envolve o processo iterativo de revisar o escopo da ACV e a qualidade dos dados

coletados (GARCIA, 2018).

Figura 4 – Relação entre fases da ACV



fonte: ABNT-NBR-ISO-14040 (2001)

A Figura 4 exibe as relações entre etapas da ACV, logo a fase de interpretação garante que todas as anteriores estejam corretas, caso contrário apresentará inconsistências e será necessário verificar novamente a completeza, a sensibilidade e a consistência do modelo adotado.

O objetivo desta etapa é chegar a conclusões, identificar limitações e pontos chave no sistema de produto (tais como emissões e efluentes), além de fazer recomendações de melhoria, refletindo uma consequência lógica.

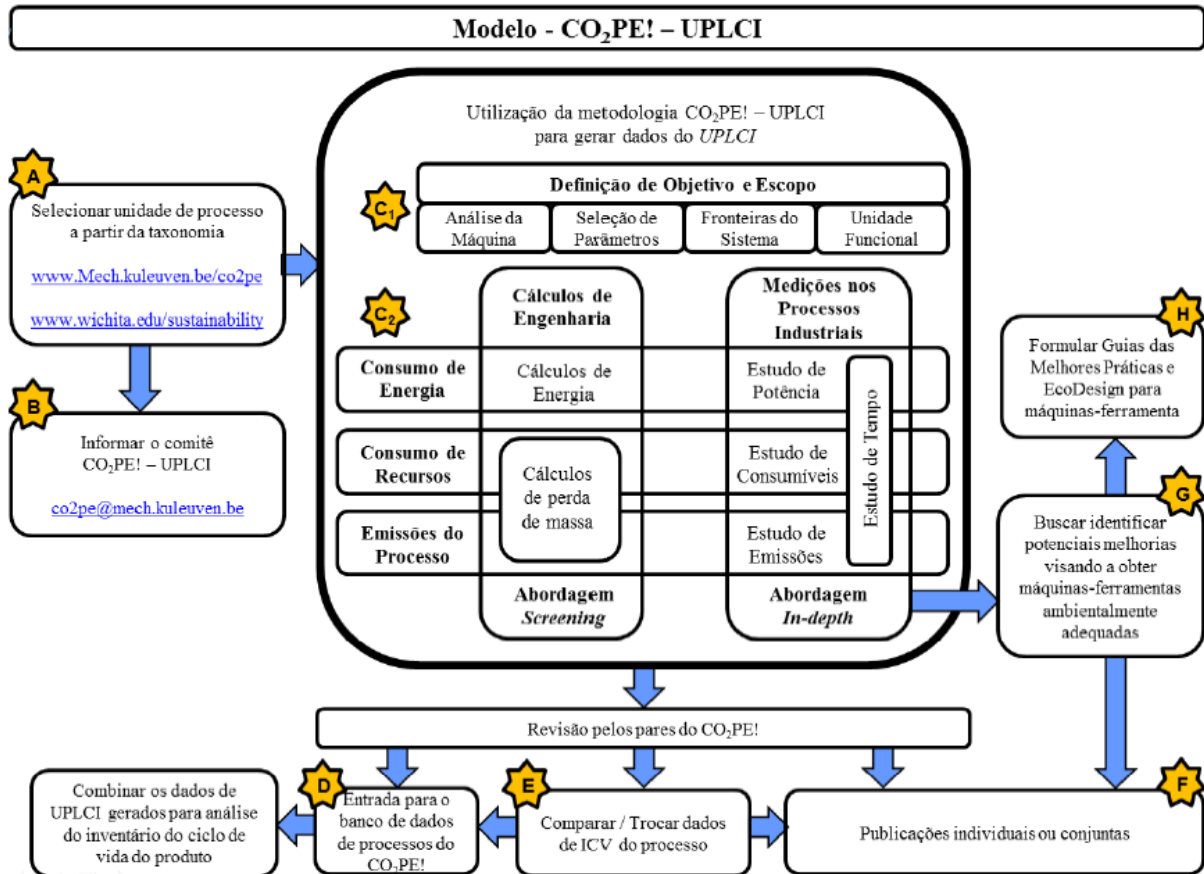
2.3 METODOLOGIA UPLCI

A metodologia *Unit Process Life Cycle Inventory (UPLCI)*, ou em português, Inventário de Ciclo de Vida de Unidade de Processamento foi criada com o intuito de documentar e analisar o impacto ambiental causado por processos de manufatura, complementando a metodologia tradicional da ACV. Nela, KELLENS et al. (2012) propuseram diretrizes para construção de ICVs em dois níveis de profundidade. A fase da construção do ICV é a mais suscetível a erros e gera restrições que envolvem a qualidade dos dados, consequentemente o escopo, e acaba por exigir mais tempo e esforço para sua construção.

A proposta em dois níveis objetiva fornecer "uma estrutura que permite a coleta de dados estratificados tanto por nível de subunidade do equipamento/processo quanto pelos seus modos de uso, permitindo a criação de inventários mais detalhados, precisos e completos de forma individual

para cada subunidade do processo" (FIRMINO, 2020). São elas, a mais teórica *screening* e a mais prática *in-depth*. Essas abordagens se diferenciam na origem dos dados que serão utilizados no ICV, conforme KELLENS et al. (2012) e FILLETI (2015), a abordagem *screening* utiliza de dados públicos disponíveis na literatura, como manuais e cálculos teóricos de engenharia, contudo essa metodologia tem uma dependência muito grande da qualidade dos dados fornecidos nessas literaturas. Já a abordagem *in-depth* consiste na utilização de dados empíricos, medidos *in loco* com sensores e outros equipamentos de monitoramento.

Figura 5 – Visão geral da metodologia *UPLCI* pelo modelo *CO₂PE!*



fonte: FIRMINO (2020)

A Figura 5 demonstra como a metodologia *UPLCI* é aplicada. Deve-se então escolher qual método será utilizado para construir o inventário de ciclo de vida, podendo ser a abordagem *screening*, *in-depth* ou uma combinação das duas. Logo, esta metodologia apresenta padrões a serem adotados pelos estudos de ACVs e, de forma simples, expande o potencial de completeza do inventário, uma vez que permite criar subdivisões dos processos sem prejuízo da comparabilidade.

2.4 SOFTWARES DE ACV

Foi disponibilizado por SILVA; MANSONI (2016) uma análise dos principais bancos de dados para ACV, citando suas particularidades e principais *datasets*. O estudo compreende bancos de dados, juntamente com o *software* que poderá ser utilizado, de vários países, mostrados no Quadro 1.

Quadro 1 – Principais bancos de dados para ACV

País de origem	Nome
Alemanha	Ökobau.dat database GaBi database
Austrália	AusLCI – The Australian Life Cycle Inventory Database Initiative
Brasil	SICV Brasil - Sistema de Inventário do Ciclo de Vida do Brasil
Canadá	CRMD – Canadian Raw Materials Database LCI BD-Quebec – CIRAIG Quebec LCI database
China	CLCD - Chinese Life Cycle Database
Dinamarca	LCA Food
Estados Unidos	USLCI - U.S. Life Cycle Inventory Database
Holanda	IVAM LCA Data
Itália	Italian National Life Cycle inventory Database
Japão	IDEA - Inventory Database for Environmental Analysis
Malásia	MY-LCID - The Malaysia Life Cycle Inventory Database
Tailândia	ThaiLCI DB - Thai National Life-Cycle Database
União Europeia	ELCD - European Reference Life-Cycle Database
Suécia	CPM LCA Database
Suíça	Ecoinvent - Swiss Centre for Life Cycle Inventories
Sul da Europa	LCADB.sudoe

fonte: Adaptado de SILVA; MANSONI (2016) e GARCIA (2018)

De acordo com FIRMINO (2020), a utilização de bancos de dados como esses reduz consideravelmente o tempo consumido na coleta e tratamento de dados, uma vez que para complementar esses *datasets* os estudos de ACV devem passar por criteriosas e minuciosas revisões, atestando sua confiabilidade. Ainda sobre os bancos de dados analisados por SILVA; MANSONI (2016), o principal modelo adotado refere-se as bases de acesso gratuito, subsidiadas por entidades governamentais que realizam o gerenciamento. Contudo, também destaca que boas bases de dados como Ecoinvent e GaBi são pagas, são bases atreladas a licenças de *softwares*.

Ambas práticas podem ser encaradas como benéficas ao cenário pois as bases de acesso gratuito, na maioria dos casos, dependem da doação de dados por empresas ou pesquisadores dispostos a contribuir, já no segundo caso, de bases restritas, é de interesse da desenvolvedora do *software* que a base se expanda, buscando escalar a quantidade de usuários e consequentemente pesquisadores contribuintes.

No Quadro 2 estão listados os principais *softwares* de ACV, destacam-se pelo uso SimaPro, GaBi, Umberto e OpenLCA. Porém, conforme FIRMINO (2020), o único que possui implementada uma base de dados para o fornecimento de *datasets* sobre manufatura de produtos/materiais, envolvendo processos de MS é o GaBi, através da base intitulada *manufacturing processes*. Contudo nenhum *dataset* até o ano de 2020 apresentava ter sido construído com a metodologia *UPLCI*.

Apesar dos *softwares* modernos fornecerem cálculos robustos e serem direcionados a minimizar o erro do usuário, é importante a compreensão do método de análise para determinar a qualidade e confiabilidade dos estudos, ou seja, métodos que possuem melhor aderência a cada tipo de estudo. Métodos *midpoint* são definidos em pontos intermediários, orientados ao problema (acidificação, potencial de toxicidade humana etc.), métodos *endpoint* são definidos em pontos finais, orientados ao dano (perda de biodiversidade causada por algum fator, algum dano à saúde humana etc.) (QUEIROZ,

Quadro 2 – Principais *softwares* para ACV

Nome do software	Tipo de acesso
BEES	Gratuito
CMLCA	Restrito
eiolca.net	Gratuito
EMIS	Restrito
GaBi	Restrito
GREET	Gratuito
OpenLCA	Gratuito
Regis	Restrito
SimaPro	Restrito
TEAM	Restrito
Umberto	Restrito

fonte: Adaptado de GARCIA (2018)

2011) (GARCIA, 2018). Alguns desses métodos foram listados por GARCIA (2018) no Quadro 3.

Quadro 3 – Principais métodos de AICV

Nome do método	<i>midpoint/endpoint</i>
CED	<i>midpoint</i>
CML-IA	<i>midpoint</i>
Ecological Scarcity 2013	<i>endpoint</i>
EDIP 2003	<i>midpoint</i>
ILCD 2011	<i>midpoint</i>
Impact 2002+	<i>midpoint e endpoint</i>
IPCC 2013	<i>midpoint</i>
ReCiPe	<i>midpoint e endpoint</i>
TRACI	<i>endpoint</i>
USETox	<i>midpoint</i>

fonte: Adaptado de GARCIA (2018)

2.5 ACV EM PROCESSOS DE MANUFATURA

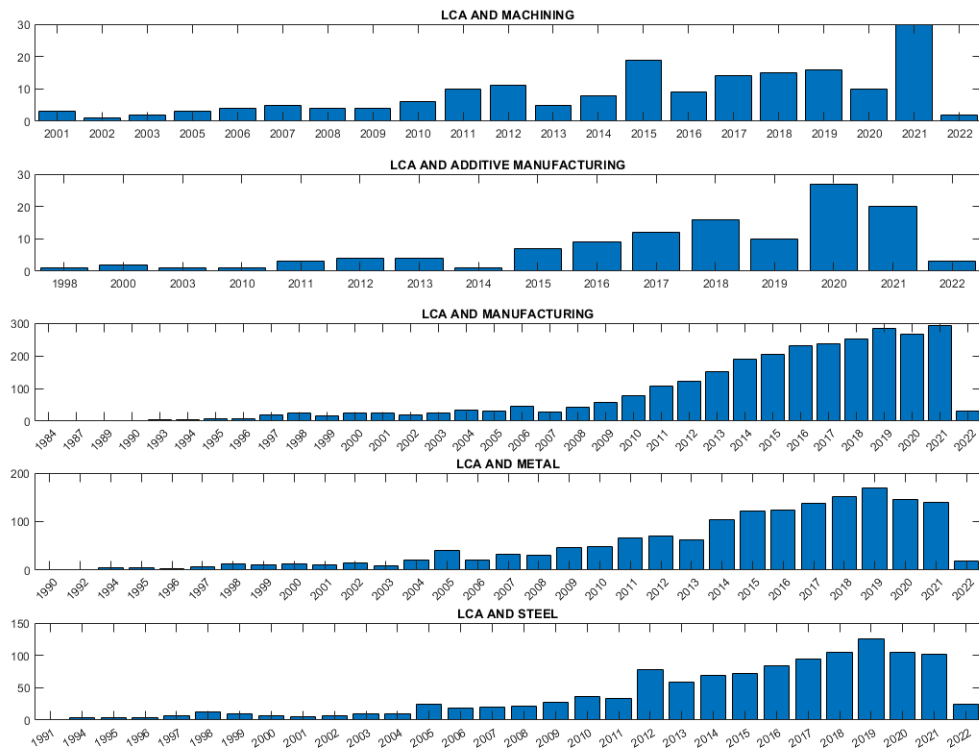
Como proposto pelos trabalhos de FIRMINO (2020) e GARCIA (2018), a análise da recorrência do tema se deu pela busca de palavras-chave numa base de dados e, a base escolhida foi a Scopus. As palavras-chave escolhidas foram combinações de LCA (*Life Cycle Assessment*, termo em inglês para ACV) somado ao operador booleano AND e palavras costumeiras em trabalhos sobre manufatura e materiais metálicos. Também foram escritas em inglês por existirem mais artigos neste idioma, são elas:

- *Machining*, em português Usinagem
- *Additive Manufacturing*, em português Manufatura Aditiva
- *Manufacturing*, em português Manufatura
- *Metal*, em português Metal

- *Steel*, em português Aço

A Figura 6 mostra o resultado da pesquisa, que teve por objetivo verificar e evidenciar o início desses estudos, citado em seções anteriores. Nota-se também que, embora mais trabalhos estejam sendo desenvolvidos, pouco se tem a respeito de ACVs em processos de usinagem e manufatura aditiva, sendo que tais estudos trazem grande conhecimento para os processos de manufatura que podem vir a ser utilizados em projetos futuros, afim de reduzir desperdício e impactos ambientais.

Figura 6 – Quantidade de publicações por palavras-chave



fonte: Produção do próprio autor.

Apesar deste resultado estar relacionado aos termos citados, fornece uma boa estimativa do aumento de trabalhos. Segundo QUEIROZ (2011) podem haver mais trabalhos, e mais antigos, utilizando metodologias parecidas com outros termos (*energy analysis, resource analysis, environmental profile analysis etc.*), mas afirma que o aumento se deu pelas discussões levantadas após a primeira crise do petróleo, ou seja, quando um dos recursos mais utilizados até então ficou escasso. Tais estudos foram, e são, muito importantes para desmentir falsas percepções, como é dito pelo Dr. José Vicente Rodrigues Ferreira em seu trabalho intitulado "Análise de Ciclo de Vida dos Produtos".

Um dos primeiros estudos quantificando as necessidades de recursos, emissões e resíduos originados por diferentes embalagens de bebidas foi conduzido pelo "*Midwest Research Institute*"(MRI) para a Companhia Coca-Cola em 1969. Este estudo nunca foi publicado devido ao carácter confidencial do seu conteúdo, sendo no entanto utilizado pela companhia, no início dos anos setenta como um "*input*" nas suas decisões sobre embalagens. Um dos resultados interessantes do trabalho da Coca-Cola foi demonstrar que as garrafas de plástico não eram piores, do ponto de vista ambiental, do que as de vidro. Anteriormente, os plásticos tinham a reputação de um produto indesejável em termos ambientais, tendo o estudo REPA demonstrado, que esta reputação era baseada em más interpretações (FERREIRA, 2004)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Nesta seção são descritos os equipamentos e outros insumos utilizados para modelagem do ICV com o sistema de produto *cradle-to-gate*, utilizando a metodologia *UPLCI* e, objetivando estudar e propor melhorarias ao desempenho ambiental desses processos.

Como a metodologia determina, é necessário realizar estudos de potência, tempo e massa para cada processo individualmente. Portanto foram listados nas tabelas abaixo, Tabela 1 e Tabela 2, os equipamentos utilizados tanto para realizar a transformação da matéria quanto para medição das entradas e saídas.

Tabela 1 – Equipamentos utilizados para transformar o material

Tipo	Modelo	Processo
Centro de Usiganem	Leadwell MCV-1000BP	Manufatura Subtrativa
Forno (Figura 7)	Jung LF07013	Tratamento Térmico
Forno (Figura 8)	EDG FC - I 6600W	Tratamento Térmico

fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 7 – Forno Jung LF07013 - UNESP SJBV



(a) Forno Jung LF07013



(b) Dados técnicos do forno Jung

fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 2 – Equipamentos utilizados para medições e estimativas

Tipo	Modelo	Processo
Sistema de coleta de energia	Fluke 1735	Manufatura Subtrativa
Cálculo de massa	<i>SMath Studio</i>	Manufatura Subtrativa
Amperímetro (Figura 9)	Minipa ET-3200A	Tratamento Térmico

fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 8 – Forno EDG FC-I 6600W - UNICAMP



(a) Forno EDG FC-I



(b) Dados técnicos do forno EDG

fonte: Produção do próprio autor.

Além desses equipamentos foi utilizada uma amostra de Aço Maraging 18%Ni 300, Figura 10, cedida pelo Prof. Dr. Julian Ávila Diaz.

Essas amostras foram fatiadas pelo Prof. Dr. Julian e os dados não foram considerados neste estudo. Por serem amostras obtidas sem a coleta de dados de etapas anteriores ao estado que se encontravam, foi adotado primeiramente um padrão ao qual o material deveria se adequar e posteriormente o estudo do ICV seria feito de forma empírica, sendo as fases anteriores preenchidas utilizando dados da literatura, se aproximando da metodologia *Screening* proposta por (KELLENS et al., 2012).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Unidade Funcional e Fronteiras do Sistema

Em concordância com ABNT-NBR-ISO-14044 (2009), a escolha da unidade funcional é parte da fase de definição de escopo e objetiva escolher uma medida de desempenho para última saída do sistema, ou seja, o produto que será estudado. Essa medida também define o fluxo de referência, que tem por função definir a quantidade de produtos necessários para cumprir a unidade funcional do sistema. De maneira prática a unidade funcional normaliza as entradas e saídas dos processos elementares para uma saída bem definida.

Dessa forma, a unidade funcional adotada foi um corpo de prova de Aço Maraging 18%Ni 300 tratado por envelhecimento a 480°C por três horas com resistência mecânica de 2200 MPa (Figura 11). Com esta unidade funcional nota-se as particularidades do sistema a ser analisado e torna mais fácil a

Figura 9 – Alicate Amperímetro Minipa ET-3200A



fonte: Produção do próprio autor.

comparação com outros estudos de ACV de metais que cumpram o critério de desempenho de resistir a 2200 MPa.

As fronteiras do sistema indicam onde o estudo começa e termina. Na Figura 12 estão indicadas as fronteiras do sistema quanto ao ciclo de vida do produto, e demonstra as fronteiras estabelecidas quando o sistema é do tipo *cradle-to-gate*, da extração da matéria prima até a produção do produto para ser utilizado.

Na Figura 13 estão demonstradas as relações entre as subunidades do sistema destacado na Figura 12. Nesta imagem é exibido o fluxograma dos processos necessários para obter um produto de acordo com a unidade funcional e não exemplifica as entradas e saídas de cada processo que serão expostas em seções a frente.

Figura 10 – Amostra de Aço Maraging 18%Ni 300

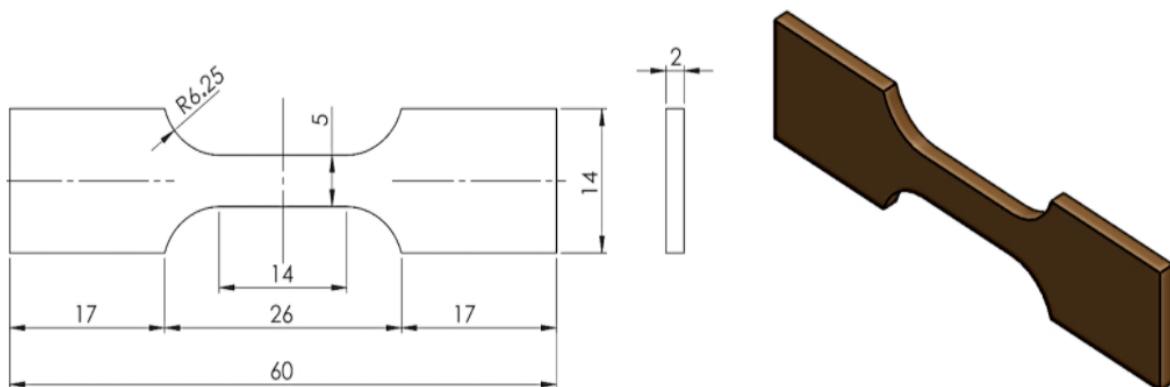


(a) Amostra bruta

(b) Amostra fatiada

fonte: Produção do próprio autor.

Figura 11 – Desenho do corpo de prova



fonte: Produção do próprio autor.

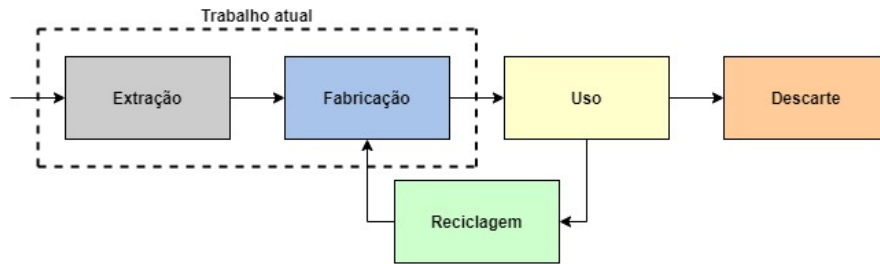
3.2.2 Inventário de Ciclo de Vida (ICV)

Nesta etapa seria ideal a abordagem *in-depth* porém foi adotada uma metodologia mista por conta do material escolhido ser de uso militar e da dificuldade de parcerias com empresas fornecedoras deste produto. Para as etapas iniciais (Mineração, Obtenção do tarugo e Laminação) buscou-se dados na literatura afim de obter aproximações e cálculos de engenharia para potência consumida na extração e fundição dos metais associados. Para descobrir a liga exata da amostra obtida, a amostra foi enviada ao laboratório TORC Controle Tecnológico de Materiais LTDA que fez um laudo da composição química do aço (ANEXO A), Tabela 3.

Os dados da extração (mineração) desses materiais estão presentes nos *datasets* disponíveis em algumas bases de dados de ACV. A próxima etapa, de remoção de material, já é com a amostra na geometria adequada ao padrão, ou *blank*, a partir do qual iniciaremos o estudo empírico.

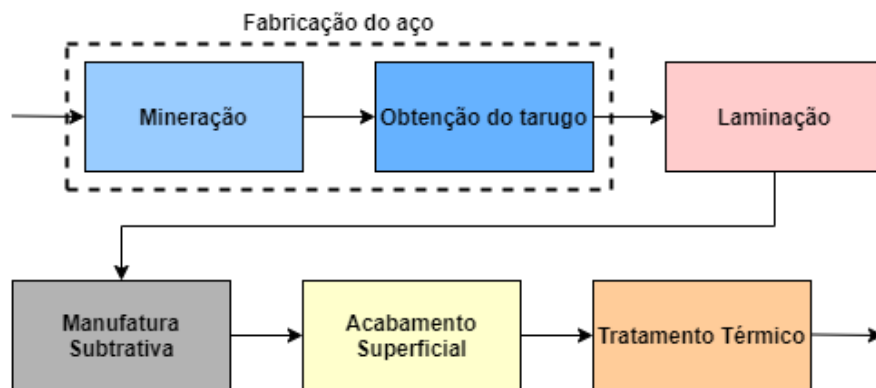
As medições de energia e massa do processo de usinagem foram contabilizadas através do cola-

Figura 12 – Fronteiras do sistema



fonte: Produção do próprio autor.

Figura 13 – Relações entre as subunidades do sistema



fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 3 – Composição química da amostra (%)

Elemento	Símbolo	%
Carbono	C	0,011
Silício	Si	0,05
Manganês	Mn	0,03
Fósforo	P	0,005
Enxofre	S	<0,001
Cromo	Cr	0,03
Níquel	Ni	18,53
Molibdênio	Mo	4,50
Alumínio	Al	0,10
Titânio	Ti	0,81
Nitrogênio	N	0,021
Cobalto	Co	9,58
Ferro	Fe	Restante

fonte: Adaptado do laudo do Laboratório Tork - Anexo A.

borador Eng. MSc. Alessandro Silveira Firmino que atua no laboratório do Centro Tecnológico da Marinha - CINA. O inventário coletado está presente em seções a frente, contudo o procedimento é detalhado abaixo.

1. Esquadrear *blank* nas dimensões finais de 15x60 mm.

a) Esta etapa deve ser feita retirando material de modo que o centro seja preservado, afim de utilizar uma parte com menos defeitos de fabricação e garantir as propriedades mecânicas.

2. Usinar perfil do corpo de prova.
3. Facear cada lado do corpo de prova para acabamento.

Durante esse procedimento devem ser coletados dados de consumo energético do centro de usinagem, consumo de insumos (fluido de corte) e material removido (cavaco). Não será considerado o desgaste da ferramenta neste estudo por conta da amostra ser pequena e não fornecer dados suficientes para a média do desgaste ser confiável.

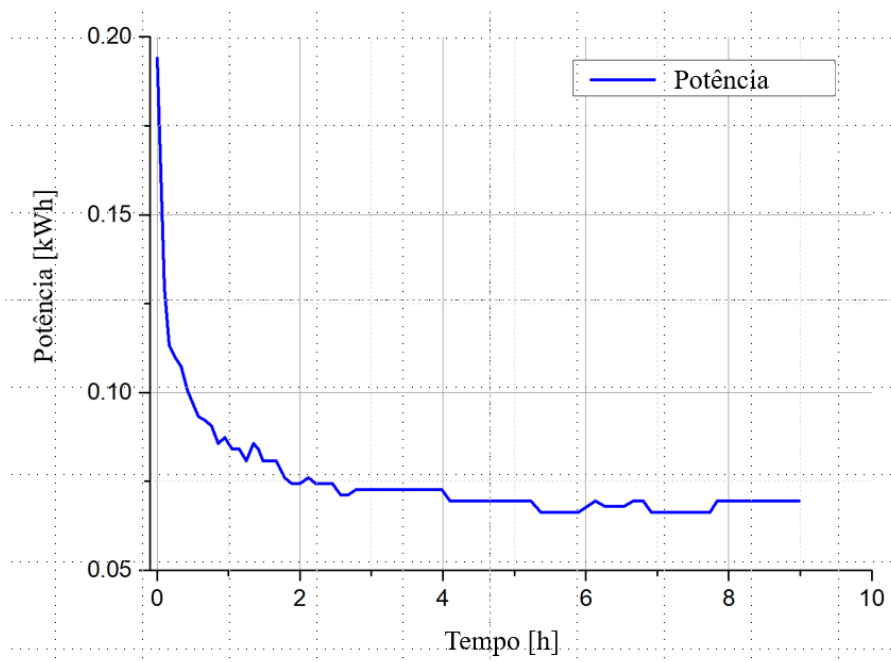
A próxima, e última, etapa é a de tratamento térmico, na qual são levantados os processos do forno:

1. Aquecer o forno.
2. Estabilizar a temperatura.
3. Realizar tratamento térmico.

Essas fases do forno são levantadas com equipamentos que contabilizam a potência instantânea consumida, ou de forma aproximada, utilizando amperímetro e calculando a potência através da tensão nominal do equipamento. Neste estudo foi realizado o segundo procedimento, utilizando o amperímetro citado na Tabela 2, a Figura 14 exemplifica a curva esperada para o consumo do forno.

Vale ressaltar que fornos deste tipo possuem volumes e consumo variados, se considerar processos de tratamentos térmicos de escala industrial existe uma variação muito grande em relação aos fornos utilizados neste estudo, contudo existe dificuldade em levantar dados assim por conta de empresas que trabalham com este aço estarem adequadas a políticas rigorosas quanto as informações.

Figura 14 – Curva de consumo de potência do forno Jung



fonte: Produção do próprio autor.

3.2.3 Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida (AICV)

Esta é uma etapa iterativa em conjunto a construção do ICV. Para realizar a AICV, na qual o sistema de produto é avaliado do ponto de vista ambiental, através de algum dos métodos descritos em seções anteriores, foi utilizado o *software GaBi Education 9.1.0.53* e a base de dados *Education database 2019*.

Este *software* foi escolhido por conta da sua base de dados que conta com dados sobre manufatura e pela familiaridade do grupo de estudos *Center for Advanced and Sustainable Technologies (CAST)* com o programa, sob orientação dos Prof. Dr. José Augusto de Oliveira e Prof. Dr. Ivan Aritz Aldaya Garde.

O *GaBi*, na sua versão estudantil, fornece alguns métodos de AICV, mostrados no Quarto Quadro 4.

Quadro 4 – Métodos de AICV disponíveis no *Gabi* Estudantil

Nome do método	<i>midpoint/endpoint</i>
CML 2001 - Jan 2016	<i>midpoint</i>
ReCiPe 2016 Midpoint (H) v1.1	<i>midpoint</i>
TRACI 2.1	<i>endpoint</i>
Environmental Footprint 2.0	<i>midpoint e endpoint</i>

fonte: Produção do próprio autor.

O método escolhido foi o método ReCiPe 2016 Midpoint (H) v1.1, que é um dos métodos mais adotados na literatura e as categorias de impacto são adequadas ao processo que é o objeto de estudo. As categorias de impacto avaliadas são:

- Potencial de Mudança Climática [kg CO₂ eq.]
- Potencial de Material Particulado [kg PM_{2.5} eq.]
- Potencial de Depleção Fóssil [kg oil eq.]
- Potencial de Consumo de Água Doce [m³]
- Potencial de Ecotoxicidade de Água Doce [kg 1,4-DB eq.]
- Potencial de Eutrofização de Água Doce [kg P eq.]
- Potencial de Toxicidade Humana, cancerígena [kg 1,4-DB eq.]
- Potencial de Toxicidade Humana, non-cancerígena [kg 1,4-DB eq.]
- Potencial de Radiação Ionizante [Bq. C-60 eq. to air]
- Potencial de Ecotoxicidade Marinha [kg 1,4-DB eq.]
- Potencial de Eutrofização Marinha [kg N eq.]
- Potencial de Depleção de Metal [kg Cu eq.]
- Potencial de Acidificação do Solo [kg SO₂ eq.]
- Potencial de Ecotoxicidade Terrestre [kg 1,4-DB eq.]

3.2.4 Interpretação da ACV

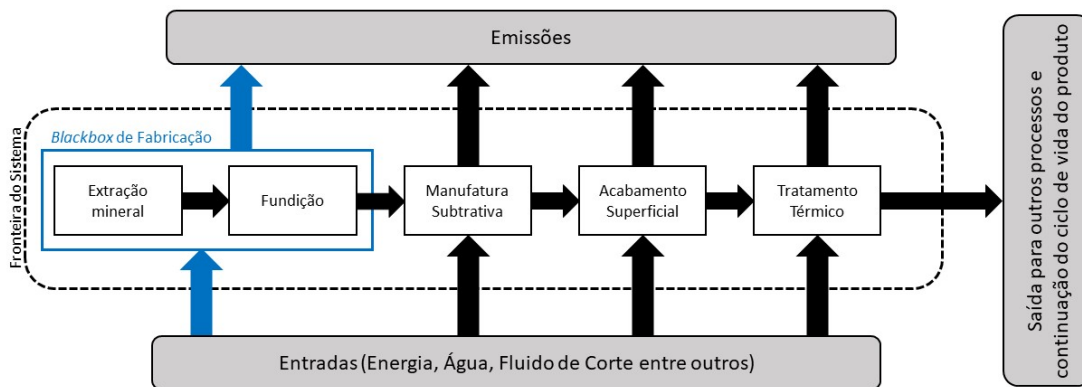
Por fim, os resultados foram analisados buscando identificar os processos e fluxos de maior potencial de impacto no sistema de produto. Analisou-se também os motivos dos mesmos serem os *hotspots* ambientais e propor melhorias tanto ao processo quanto a estudos futuros, citando as dificuldades da coleta e confiabilidade de dados utilizados em estudos de Avaliação de Ciclo de Vida.

Destaca-se que parte deste trabalho foi desenvolvida concomitantemente ao projeto de iniciação científica do Gabriel Prizimich de Almeida Gamero Vico, aluno de graduação em engenharia aeronáutica pela UNESP - Campus São João da Boa Vista, no qual foi realizada a ACV da mesma unidade funcional, contanto, para o Método de Manufatura aditiva (MA) e conta com resultados que serão utilizados para comparação (VICO; DIAZ; OLIVEIRA, 2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados oriundos da metodologia apresentada que considera o sistema de produto do tipo berço-ao-portão (*cradle-to-gate*), Figura 15.

Figura 15 – Sistema de produto avaliado



fonte: Produção do próprio autor.

4.1 RESULTADOS DO ESTUDO DE TEMPO

Após a secção do processo todo em sub-operações, foram cronometradas as etapas fora da caixa preta da fabricação do lingote de aço, já que para esse bloco foram utilizados dados da literatura. As cronometragens dos processos de MS e acabamento superficial foram realizadas no CINA pelo colaborador Eng. MSc. Alessandro Silveira Firmino e foram monitorados os tempos de usinagem de 4 amostras do aço forjado.

Nesta etapa, por conta do equipamento utilizado, houveram fases que as amostras foram usinadas em conjunto e fases que foram usinadas individualmente e foi considerado para a análise a média de tempo por peça usinada, de acordo com a unidade funcional. Vale ressaltar que entre as etapas o maquinário não foi desligado, permanecendo em *idle* enquanto as peças eram trocadas de posição ou outro programa CNC era carregado, logo, consumindo energia elétrica e portanto este tempo também foi considerado, Tabela 4. As medições detalhadas encontram-se no APÊNDICE A.

Para os tempos de tratamento térmico foram utilizados os dados do forno da UNICAMP, uma vez que são resultados mais recentes para o projeto.

Nota-se que apenas 763,25 segundos foram de remoção de material, e o produto é transformado em apenas 39% do tempo de MS e acabamento superficial (Ver APÊNDICE A).

Tabela 4 – Estudo de Tempo das Etapas - Normalizado por número de amostras

Etapa	Processo	Tempo médio [s]
Esquadrear <i>blank</i>	Manufatura Subtrativa	836,75
Usinar Corpo de Prova	Manufatura Subtrativa	812,5
Usinar Faces do Corpo de Prova	Acabamento Superficial	317,25
Aquecimento do forno	Tratamento Térmico	1560
Envelhecimento	Tratamento Térmico	10800 (ou 3h)

fonte: Produção do Próprio Autor.

4.2 RESULTADOS DO ESTUDO DE POTÊNCIA

Em paralelo ao estudo de tempo foram coletados dados potência e consumo de eletricidade, os resultados estão na Tabelas 5 e 6. As medições foram realizadas utilizando os equipamentos da Tabela 2 e também são apresentadas de forma gráfica, Figura 16 e Figura 17.

Tabela 5 – Estudo de Potência das Etapas

Etapa	Potência média [kVA]
Esquadrear <i>blank</i> - Usinagem	7,645
Esquadrear <i>blank</i> - <i>Idle</i>	5,083
Usinar Corpo de Prova - Usinagem	7,649
Usinar Corpo de Prova - <i>Idle</i>	5,077
Usinar Faces do Corpo de Prova - Usinagem	7,649
Usinar Faces do Corpo de Prova - <i>Idle</i>	5,078
Aquecimento do forno	6,288
Envelhecimento	1,865

fonte: Produção do Próprio Autor.

Tabela 6 – Consumo de Eletricidade das Etapas - Normalizado por número de amostras

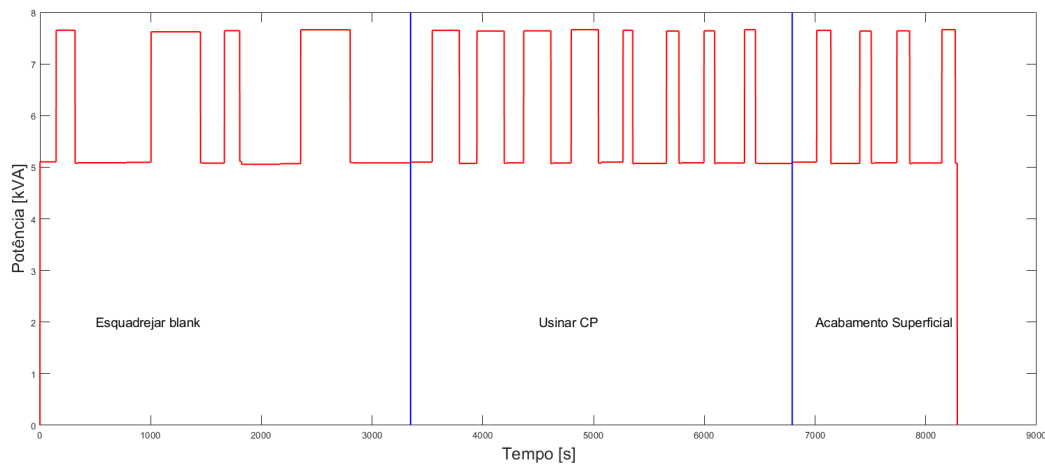
Etapa	Consumo médio [kVAh]
Esquadrear <i>blank</i> - Usinagem	0,638
Esquadrear <i>blank</i> - <i>Idle</i>	0,757
Usinar Corpo de Prova - Usinagem	0,734
Usinar Corpo de Prova - <i>Idle</i>	0,729
Usinar Faces do Corpo de Prova - Usinagem	0,250
Usinar Faces do Corpo de Prova - <i>Idle</i>	0,360
Aquecimento do forno	2,725
Envelhecimento	5,904

fonte: Produção do Próprio Autor.

Na Tabelas 5 e 6 os processo que sofrem de variação pelo número de peças foram normalizados pelo número de amostras, para o tratamento térmico a fase de aquecimento independe do número de amostras, apenas do volume do forno utilizado. No caso do envelhecimento, a variação no consumo é mínima para uma quantidade pequena de peças e foi desprezada.

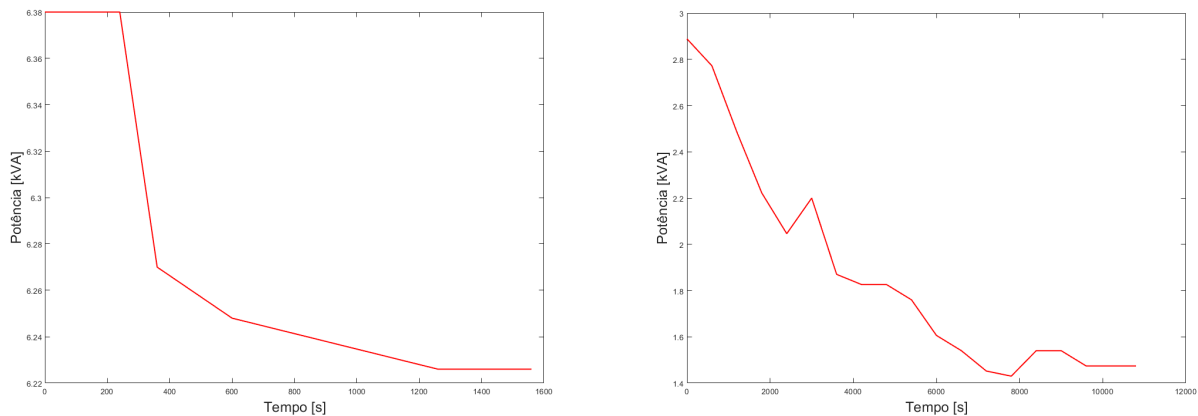
A Figura 16 mostra ciclos bem definidos do processo e nota-se a diferença de tempo das etapas envolvidas para esquadrear o *blank* (com 4 amostras simultâneas) para a usinagem do perfil corpo de prova e acabamento superficial. Apesar dos ciclos de esquadreamento tomarem mais tempo ocorrem menos ciclos e, por fim, acabam sendo etapas equivalentes.

Figura 16 – Consumo Elétrico - Centro de Usinagem



fonte: Produção do próprio autor.

Figura 17 – Curvas de Consumo Elétrico - Forno da UNICAMP



(a) Rampa de aquecimento

(b) Tratamento por Envelhecimento

fonte: Produção do próprio autor.

Na Figura 17 há um decaimento logarítmico nas duas etapas, no caso da 17a se dá pelo controlador do forno, sinal que está controlando a temperatura interna para evitar *overshoot*. Na 17b se dá, principalmente, pela perda de calor com a abertura da porta para inserir as amostras. O controle de temperatura acaba fornecendo mais energia as resistências para recuperar o calor perdido, consumindo mais energia.

4.3 RESULTADOS DO ESTUDO DE MASSA

O estudo de massa foi realizado em paralelo aos outros e monitorou principalmente o fluxo de matéria prima e fluido de corte. Estes foram medidos no CINA, *in loco* pelo Eng. MSc. Alessandro Silveira Firmino, colaborador deste trabalho e contribuiu com sua experiência em ACV envolvendo processos de manufatura subtrativa. Ambos parâmetros foram calculados pela diferença de volume, do início ao fim do processo. No caso da matéria prima, como o desgaste de ferramenta não foi rastreado, assume-se que o volume de resíduo (ou cavaco) é exatamente o material removido da peça inicial e,

para o fluido de corte, foi calculada a diferença volumétrica pela quantidade reposta no maquinário após cada ciclo, assumindo que esse volume é exatamente o volume de fluido de corte sujo descartado. Nesses processos foram contabilizados os dados desde o esquadramento do *blank*, onde para um corpo de prova nas dimensões propostas e *blank* de 63,92g a massa de matéria prima foi consumida em média 84% e 312 mililitros de fluido de corte. Como o fluido de corte utilizado foi o QUIMATIC 1, é possível traduzir este volume em massa, que será mais utilizado para construção do ICV e utilizado no *software* em kg.

4.4 ICV CONSOLIDADO

O Inventário do Ciclo de Vida, rastreando os fluxos previamente citado, está consolidado na Tabelas 7, 8 e 9.

Tabela 7 – ICV - Fabricação da liga de aço

Entradas			Saídas		
Material	Unidade	Quantidade	Material	Unidade	Quantidade
Alumínio	kg	6,39E-05	Lingote	kg	6,39E-02
Cromo	kg	1,92E-05			
Cobalto	kg	6,12E-03			
Eletricidade	MJ	6,39E-04			
Enxofre	kg	6,39E-07			
Ferro	kg	4,24E-02			
Fósforo	kg	3,20E-06			
Manganês	kg	1,92E-05			
Molibdênio	kg	2,88E-03			
Níquel	kg	1,18E-02			
Nitrogênio	kg	1,34E-05			
Silício	kg	3,20E-05			
Titânio	kg	5,18E-04			

fonte: Produção do Próprio Autor.

Tabela 8 – ICV - Processos de remoção de material (MS e Acabamento Superficial)

Entradas			Saídas		
Material	Unidade	Quantidade	Material	Unidade	Quantidade
Lingote	kg	6,39E-02	Corpo de Prova	kg	1,02E-02
Eletricidade	MJ	1,25E+01			
Fluido de Corte (QUIMATIC 1)	kg	3,57E-01			

fonte: Produção do Próprio Autor.

Tabela 9 – ICV - Tratamento térmico

Entradas			Saídas		
Material	Unidade	Quantidade	Material	Unidade	Quantidade
Corpo de Prova	kg	1,02E-02	CP Tratado Termicamente	kg	1,02E-02
Eletricidade	MJ	2,61E+02			

fonte: Produção do Próprio Autor.

4.5 RESULTADO DA AICV

4.5.1 Análise do Escopo

A análise de escopo se dá de forma que o ICV construído seja válido. Para isso a unidade funcional proposta inicialmente deve ser válida e como, neste trabalho, a unidade funcional é uma amostra que deve suportar um esforço mecânico e não um produto ao qual sua função é garantida por um processo bem estabelecido, são necessários ensaios mecânicos e a garantia de que o objetivo foi atingido.

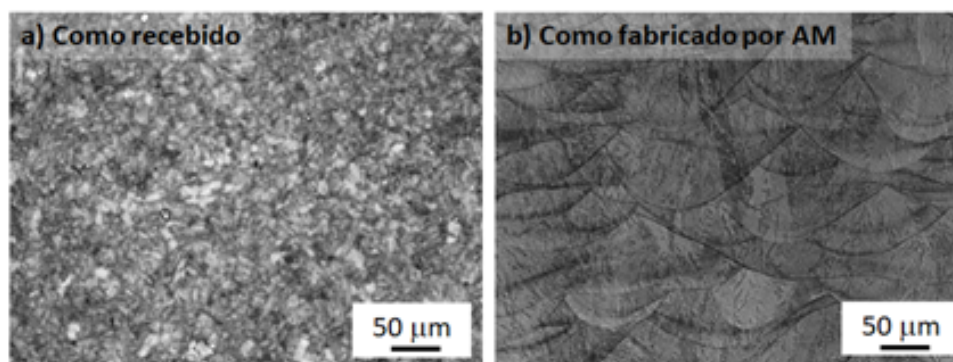
4.5.1.1 Resultados Microestruturais

As informações desta seção são compartilhadas com o trabalho de iniciação científica do aluno Felipe Teodoro Mendes e Prof. Dr. Julian Arnaldo Avila Diaz (AVILA et al., 2020), cujos resultados parciais foram publicados no I Congresso Brasileiro de Manufatura Aditiva e os resultados partem de uma amostra que provêm do mesmo tarugo utilizado nesta ACV. Tais resultados são relevantes para este estudo pois permitem a comparação microestrutural de um mesmo produto fabricado por dois métodos antagônicos (deposição e remoção de material), portanto é descrita também, com intuito comparativo (verificar a equivalência do produto final) e fornecer uma alternativa ao processo avaliado.

Os tratamentos térmicos de envelhecimento foram realizados com uma temperatura de 480°C em diferentes tempos, 1h, 3h, 6h e 9h para determinar a condição que fornecia o maior ganho de resistência mecânica por meio de medidas de dureza. O microscópio ótico utilizado para aquisição das imagens de microestrutura foi um ZEISS Axio Vert. A1. Para aquisição das durezas dos materiais foi utilizado um microdurômetro Vickers Shimadzu HMV-2.

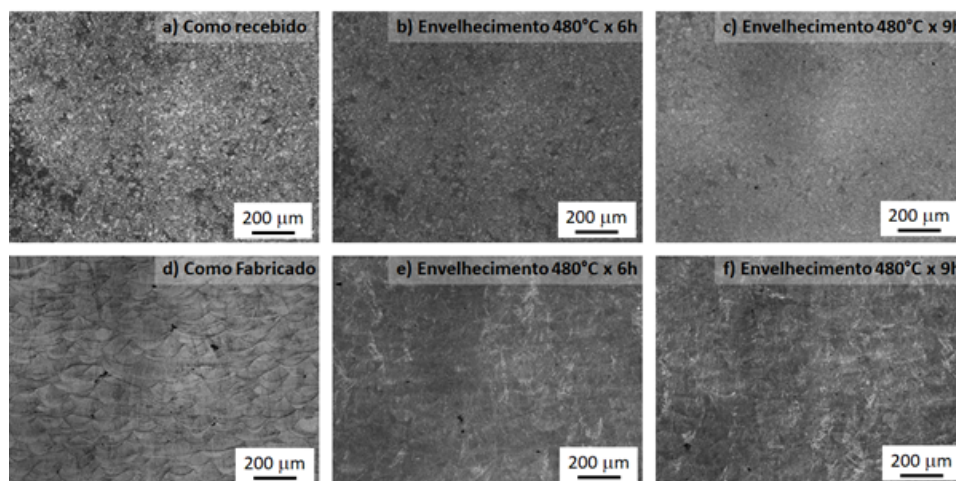
Na Figura 18 se apresenta a matriz martensítica do aço 18%Ni maraging 300 como recebido do forjamento (da maneira que é utilizado neste trabalho) e como fabricado por manufatura aditiva. A diferença entre os dois materiais em termos microestruturais é evidente, pois o forjado apresenta pacotes de martensita pequenos ($\approx 30 \mu\text{m}$) com formato bem definido e equiaxiais, mas o material processado por manufatura aditiva apresenta as poças de fusão da ordem de $\approx 150 \mu\text{m}$ de largura por $\approx 50 \mu\text{m}$ de altura, em que cada poça se assemelha às poças de fusão de soldagem por arco. No interior das poças, é possível observar a estrutura tipicamente martensítica em forma de ripas muito finas.

Figura 18 – Comparação microestrutural aço forjado e impresso



fonte: Adaptado de AVILA et al. (2020)

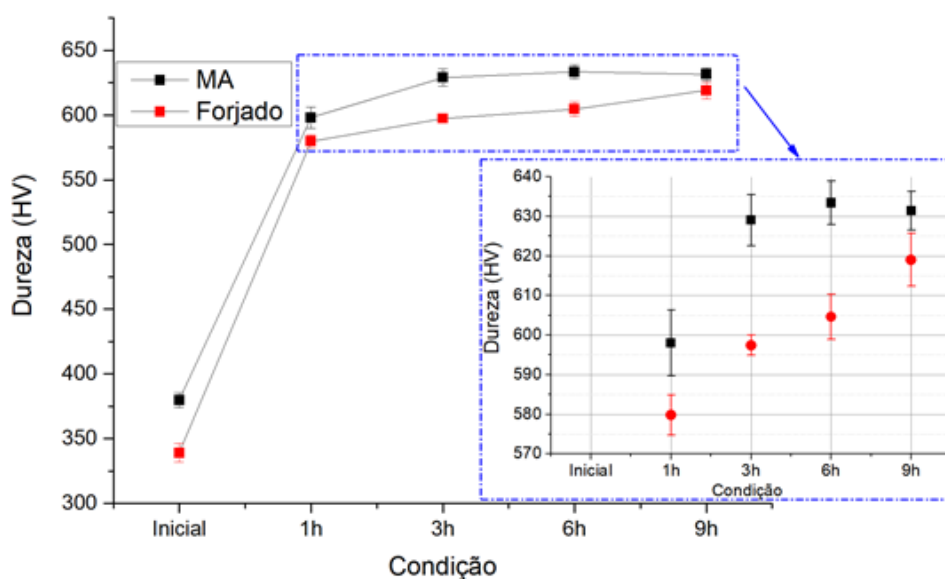
Figura 19 – Comparação microestrutural aço tratado termicamente



fonte: Adaptado de AVILA et al. (2020)

Os resultados das microestruturas dos materiais como recebidos e processados, com tratamento de envelhecimento de 6h e 9h em 480°C apresentam-se na Figura 19 (Primeira linha: forjado; Segunda Linha: MA). O principal destaque é que a estrutura martensítica do aço Maraging nos dois aços muda muito pouco por causa dos tratamentos de envelhecimento, no entanto o endurecimento por causa do tratamento se evidencia nas medições de dureza. O endurecimento é mais provável do que a reversão da austenita na temperatura utilizada, portanto mesmo que com microscopia eletrônica de varredura os precipitados pequenos deste material não poderiam ser observados. A evolução no material processado por manufatura aditiva apresenta o formato de poças de fusão individuais devidas as fusões pontuais do pó pelo laser, cujo formato ainda é observado após tratamentos de 6h e 9h, mas há uma preferência maior para atacar a microestrutura interna nas amostras envelhecidas do que o material como processado. Nesse material, é possível observar ainda o aparecimento de regiões mais claras, em que é provável serem ricas em austenita revertida (AVILA et al., 2020).

Figura 20 – Comparação de dureza aço tratado termicamente

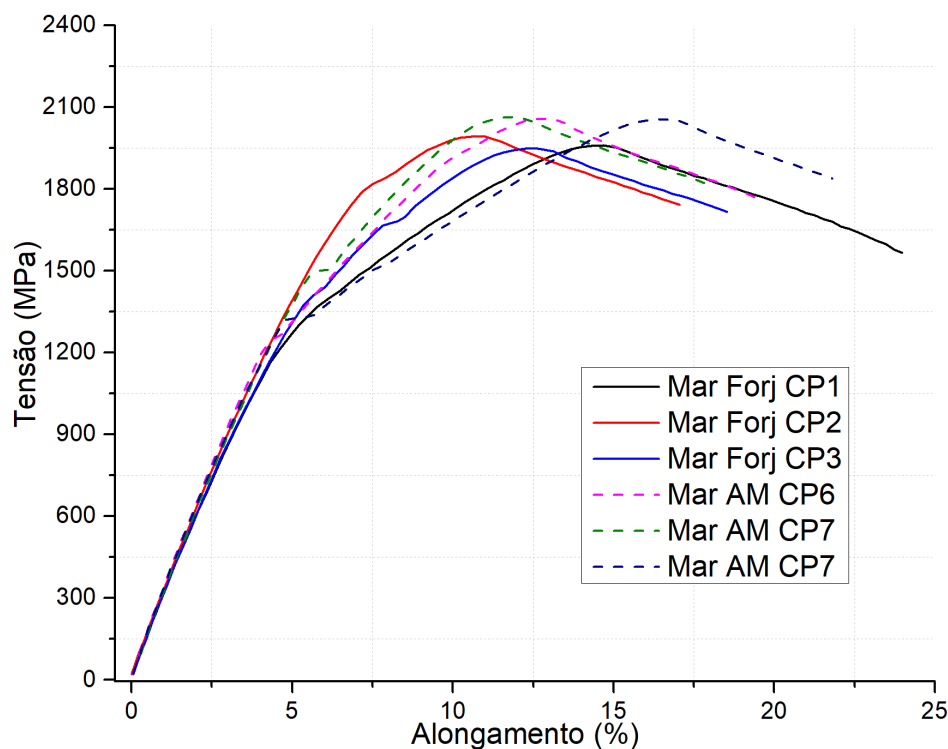


fonte: Adaptado de AVILA et al. (2020)

4.5.1.2 Ensaio de Tração

Uma vez que a microestrutura mostrou-se correta o próximo passo foi garantir que o produto suporta uma carga limite de 2200MPa. Os ensaios de tração foram realizados no Núcleo de Ensaios de Materiais e Análise de Falha – NEMAF, na Escola de Engenharia de São Carlos, na Universidade de São Paulo – EESC/USP sob coordenação do Prof. Marcelo Falcão Oliveira. Os ensaios foram realizados por Douglas Bom. Três amostras foram tracionadas numa taxa de aplicação de carga de 1,3 mm/min numa máquina MTS servo-hidráulica.

Figura 21 – Comparação de escoamento do aço forjado e impresso



fonte: AVILA et al. (2020)

Tabela 10 – Resultados do ensaio de tração

Critério	MS	MA
Tensão de escoamento [MPa]	1467	1400,3
Resistência última [MPa]	1968,3	2060,9
Alongamento [%]	18,99	19,66
Requisito de 2200 MPa [%]	89,5	93,7

fonte: Produção do Próprio Autor.

O resultado obtido, Tabela 10, mostra que o requisito de tensão não foi atingido, porém o resultado microestrutural mostra que não houve problemas na produção do material, portanto o resultado difere da norma MIL-S-46850, a qual especifica as propriedades deste material. Contudo que não haja falha no material e que a diferença entre os períodos para esse tratamento térmico não mostra ganho representativo de propriedades mecânicas, esse estudo ainda é considerado válido desde que respeitadas suas particularidades e limitações.

4.5.1.3 Ensaio de Rugosidade

Em complemento a série de ensaios e embora não seja um requisito, o ensaio de rugosidade agrega valor ao projeto um vez que está alinhado com a proposta de melhoria do processo. A principal alternativa do processo como um todo é a MA, contudo o acabamento superficial é um processo, em quase todos os casos, de remoção de material, portanto de MS. Este ensaio tem por objetivo avaliar a superfície do material e descobrir se esta etapa pode ser um ponto de melhoria. Os ensaios de rugosidade foram realizados pelo Dr. Fábio Edson Mariani utilizando um Microscópio confocal, referência 3D laser LEXT 4100 da Olympus, que faz parte do Laboratório para Processos Avançados e Sustentabilidade - LAPRAS da EESC/USP, sob coordenação do Prof. Reginaldo Coelho, os resultados estão dispostos na Tabela 11 e Figura 22.

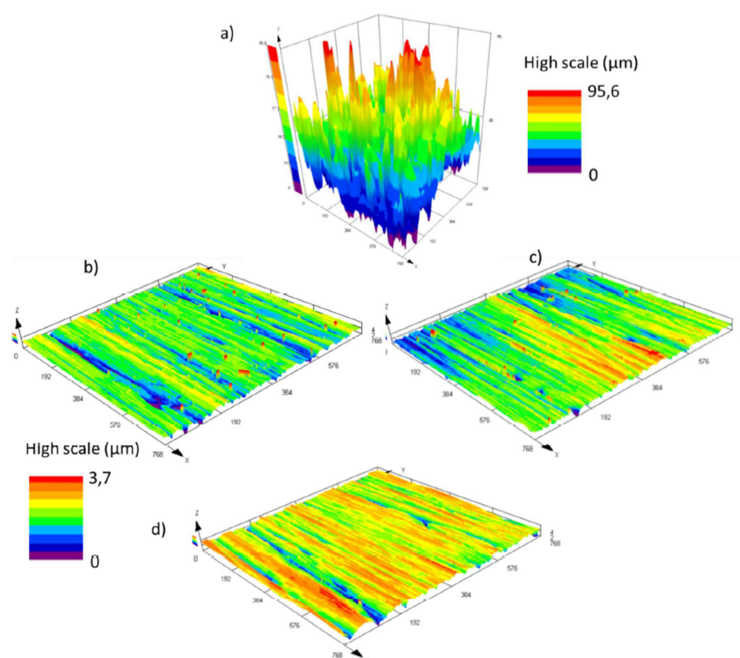
Tabela 11 – Resultados médios de rugosidade

Critério	RA	±
MS Lixado e Tratado Termicamente	0,229	0,016
MS Lixado Sem Tratamento Térmico	0,238	0,003
MA Lixado Sem Tratamento Térmico	0,279	0,009
MA Bruto	3,268	0,090

fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 22 – Comparativo de rugosidade do aço forjado e impresso

a) MA bruto. b) MS lixado com TT. c) MS lixado sem TT. d) MA lixado sem TT.

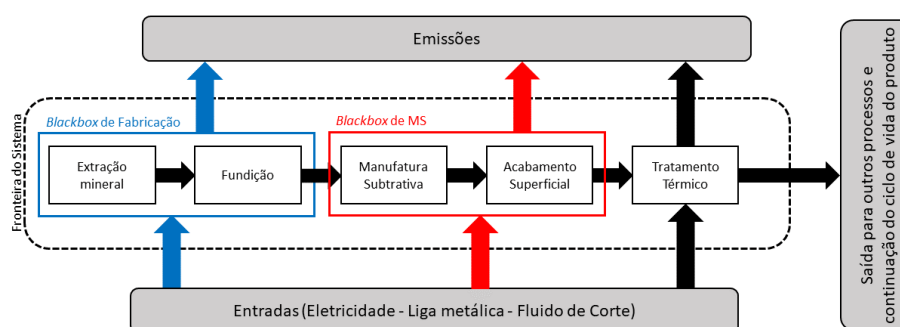


fonte: Adaptado de MOREIRA; DIAZ; OLIVEIRA (2021)

4.5.2 AICV E INTERPRETAÇÃO DA ACV

Após a consolidação do Inventário do Ciclo de Vida foi realizada a Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida do processo como um todo e, considerando as dificuldades de coleta de dados pela escassez de informações públicas a respeito do processo de fabricação do aço maraging e as limitações oriundas da pandemia durante os anos de 2020 e 2021, o sistema de produto foi simplificado e considera como *black boxes* os processo de fabricação da liga metálica e o processo de MS, Figura 23.

Figura 23 – Sistema de produto simplificado



fonte: Produção do Próprio Autor.

Na Tabela 12 são listados os potenciais impactos ambientais dos fluxos totais de cada etapa.

Tabela 12 – Valores de Potencial de Impacto Ambiental

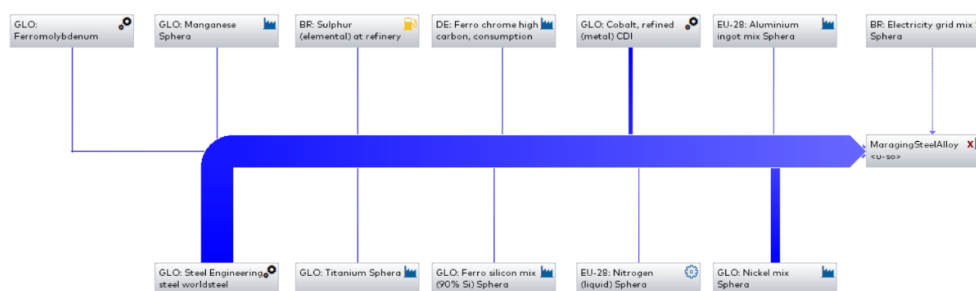
Potencial de Impacto Ambiental	Unidade	Fabricação da Liga	Manufatura Subtrativa	Tratamento Térmico
Mudança Climática	[kg CO2 eq.]	0,464	1,48	22,4
Material Particulado	[kg PM2.5 eq.]	0,00286	0,00222	0,0329
Depleção Fóssil	[kg oil eq.]	0,15	0,639	4,77
Consumo de Água Doce	[m3]	0,00643	0,0771	1,57
Ecotoxicidade de Água Doce	[kg 1,4 DB eq.]	0,0129	0,000741	0,00268
Eutrofização de Água Doce	[kg P eq.]	7,00E-05	8,05E-06	0,00014
Toxicidade Humana, cancerígena	[kg 1,4-DB eq.]	0,00848	0,00249	0,0315
Toxicidade Humana, Não-cancerígena	[kg 1,4-DB eq.]	0,403	0,306	1,19
Radiação Ionizante	[kBq Co-60 eq. to air]	0,05	0,00478	0,0974
Ecotoxicidade Marinha	[kg 1,4-DB eq.]	0,0192	0,00278	0,0248
Eutrofização Marinha	[kg N eq.]	6,11E-05	0,000134	0,00259
Depleção de Metal	[kg Cu eq.]	0,644	0,00157	0,0312
Acificação Terrestre	[kg SO2 eq.]	0,00955	0,00699	0,1
Ecotoxicidade Terrestre	[kg 1,4-DB eq.]	4,71	1,61	27,3

fonte: Produção do Próprio Autor.

A fase do tratamento térmico apresenta-se como a etapa com maior potencial de impacto ambiental, logo a eletricidade torna-se um ponto focal, e a diferença presente entre os impactos causados por cada etapa está na escala do processo.

Embora a fabricação da liga de aço seja considerada no modelo através de dados disponíveis no próprio *software*, Figura 24, a massa da unidade funcional é pequena contraposto ao volume aquecido na etapa de tratamento térmico.

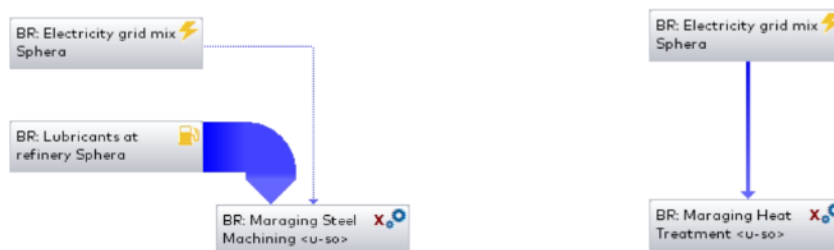
Figura 24 – Modelo da fabricação da liga de aço



fonte: Produção do Próprio Autor.

Esperava-se que a etapa intermediária (a remoção de material), Figura 25a, seria o momento que mais consumiria recursos, contudo a hipótese não se mostrou verdadeira, uma vez que o processo de usinagem varia diretamente com a quantidade de peças enquanto a etapa de tratamento térmico sofre uma variação muito menor. O consumo de eletricidade da etapa de tratamento térmico depende da capacidade de conduzir calor dos elementos que completam o volume do forno, logo, como ar é um bom isolante térmico e preenche o volume não ocupado pelo aço (no caso de uma peça), existe pouca variação na curva de aquecimento do forno, logo pouca variação no consumo de eletricidade para uma ou mais peças aquecidas simultaneamente.

Figura 25 – Modelos no *software GaBi*



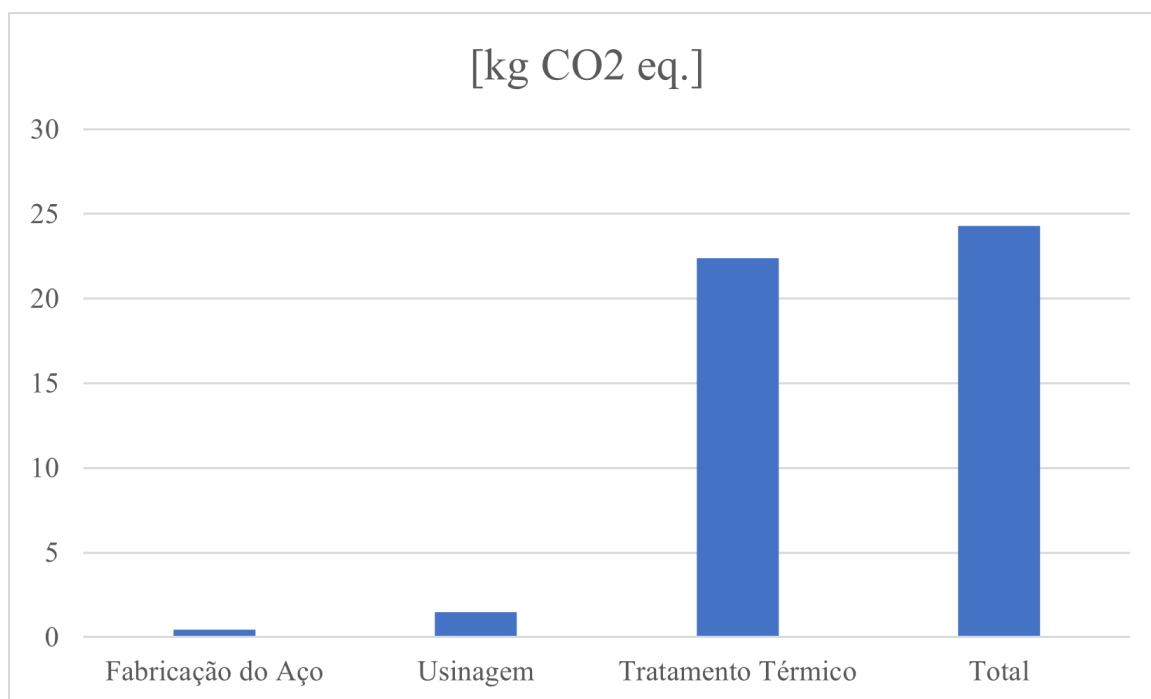
(a) Modelo da MS no *software*

(b) Modelo do TT no *software*

fonte: Produção do próprio autor.

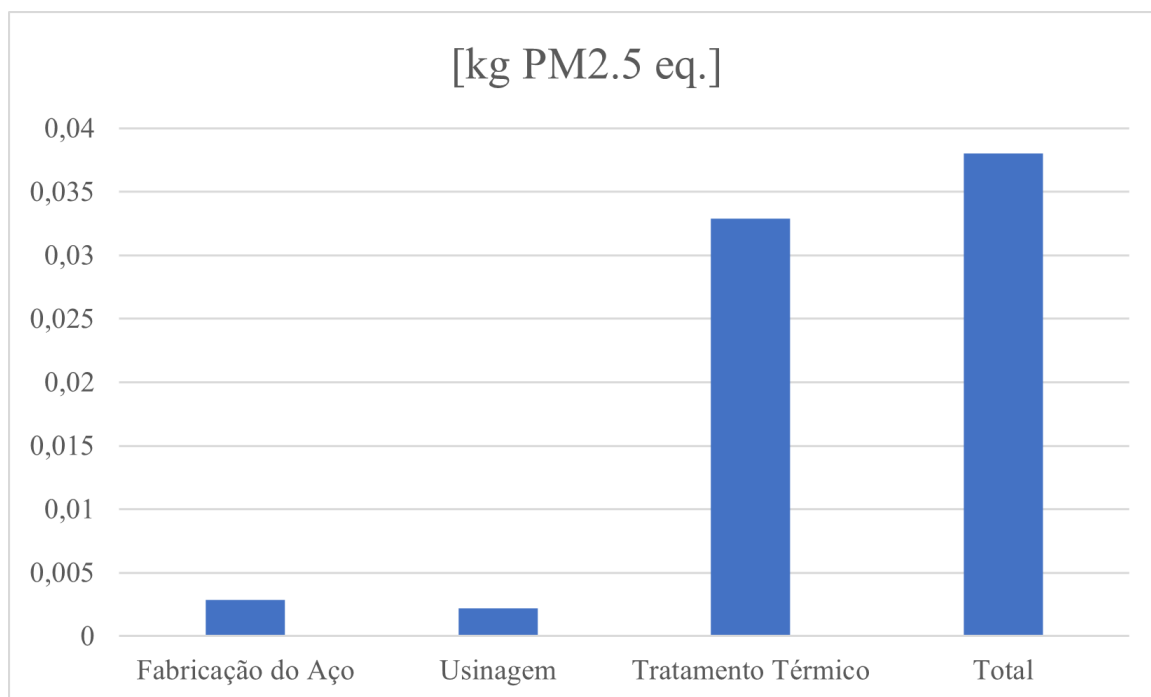
Da Figura 26 a Figura 39 são exibidos os resultados comparativos por categoria de impacto.

Figura 26 – Potencial de Mudanças Climáticas



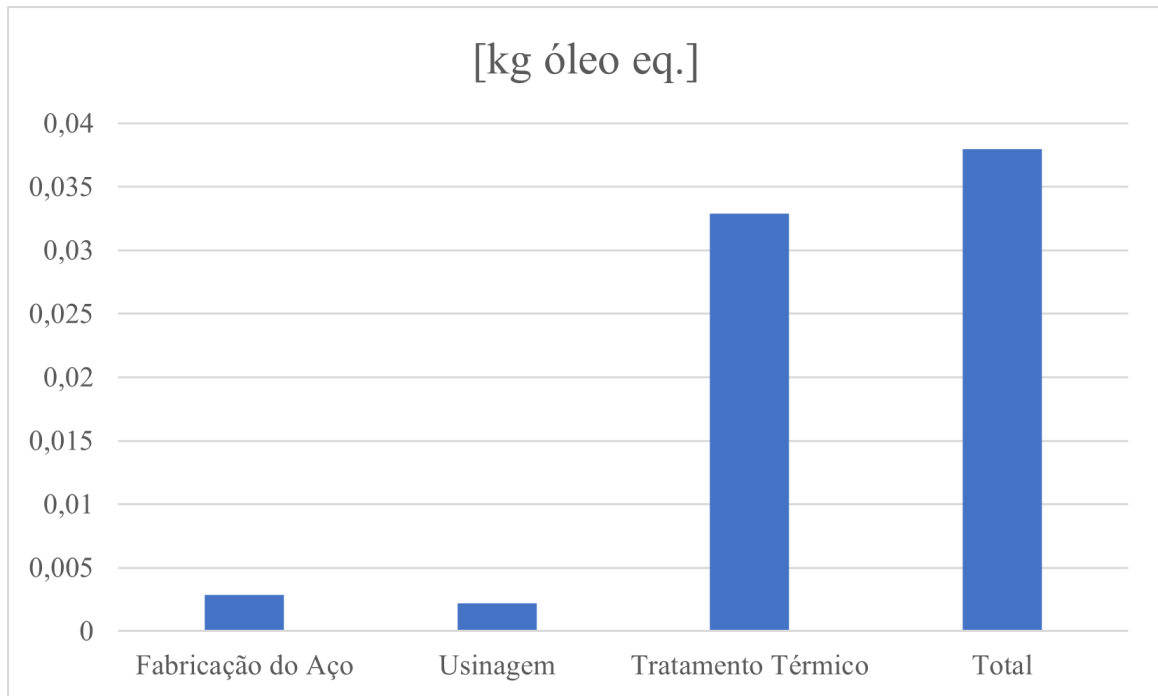
fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 27 – Potencial de Material Particulado



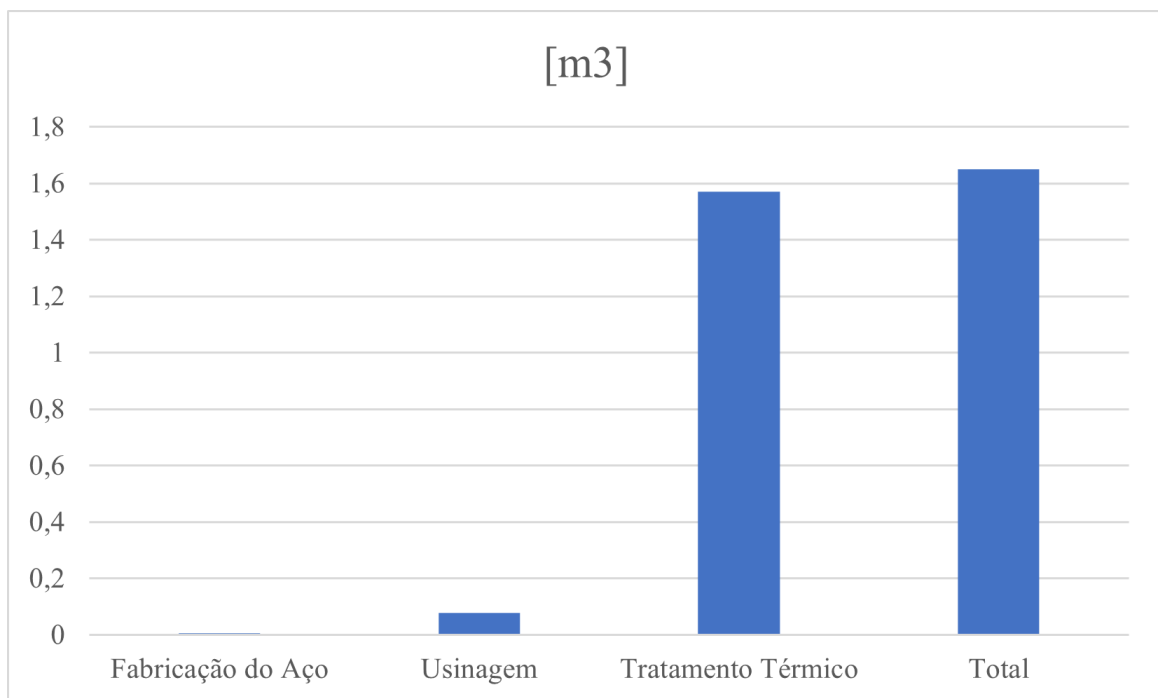
fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 28 – Potencial de Depleção Fóssil



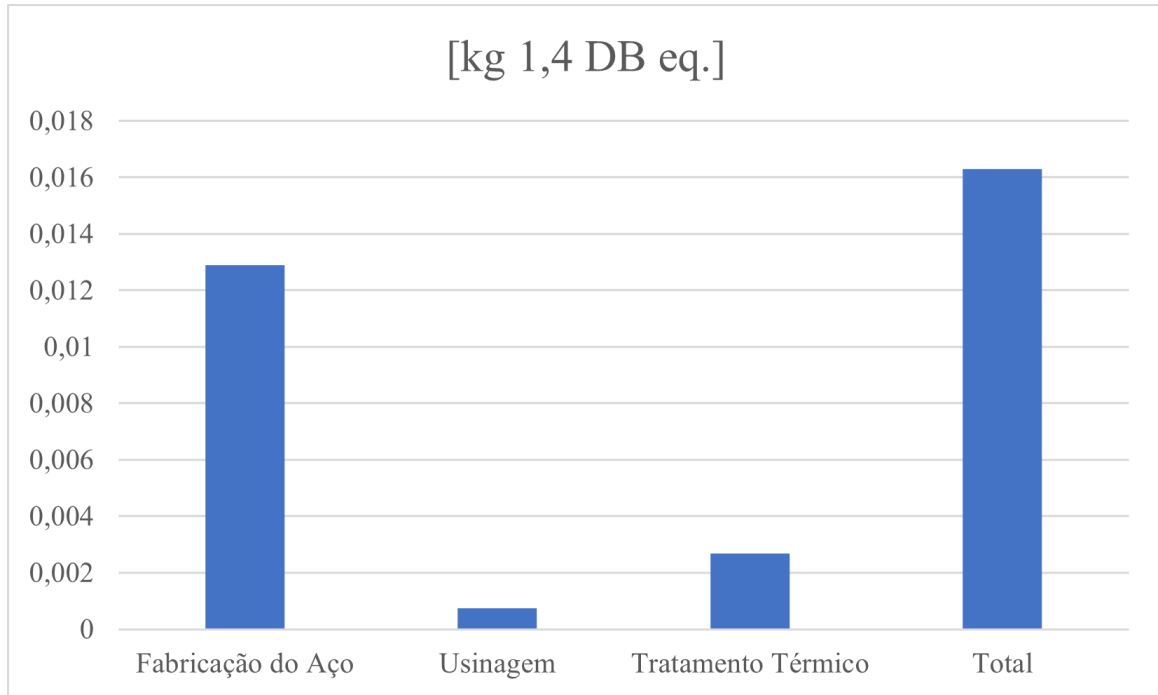
fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 29 – Potencial de Consumo de Água Doce



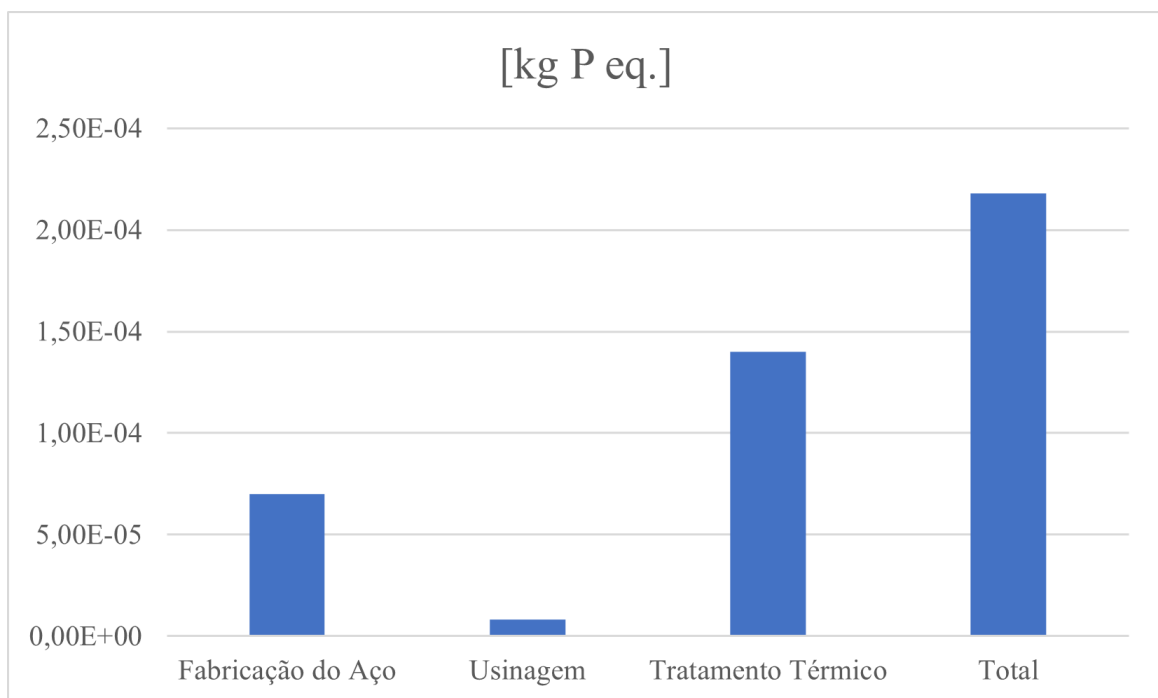
fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 30 – Potencial de Ecotoxicidade de Água Doce



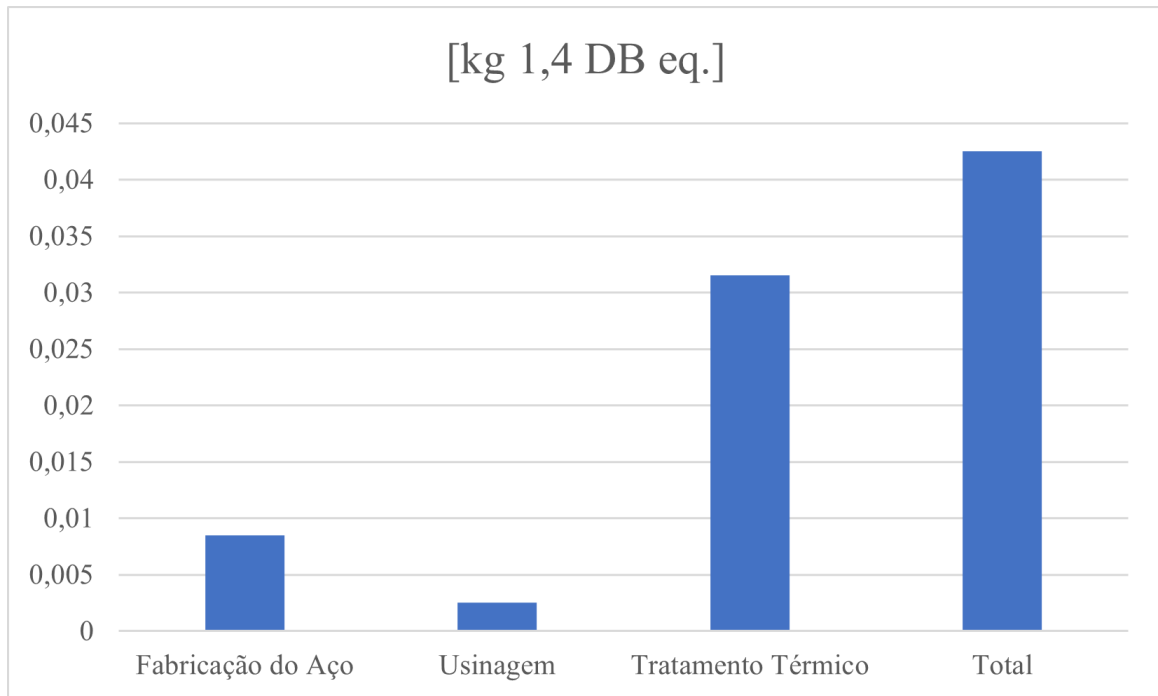
fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 31 – Potencial de Eutrofização de Água Doce



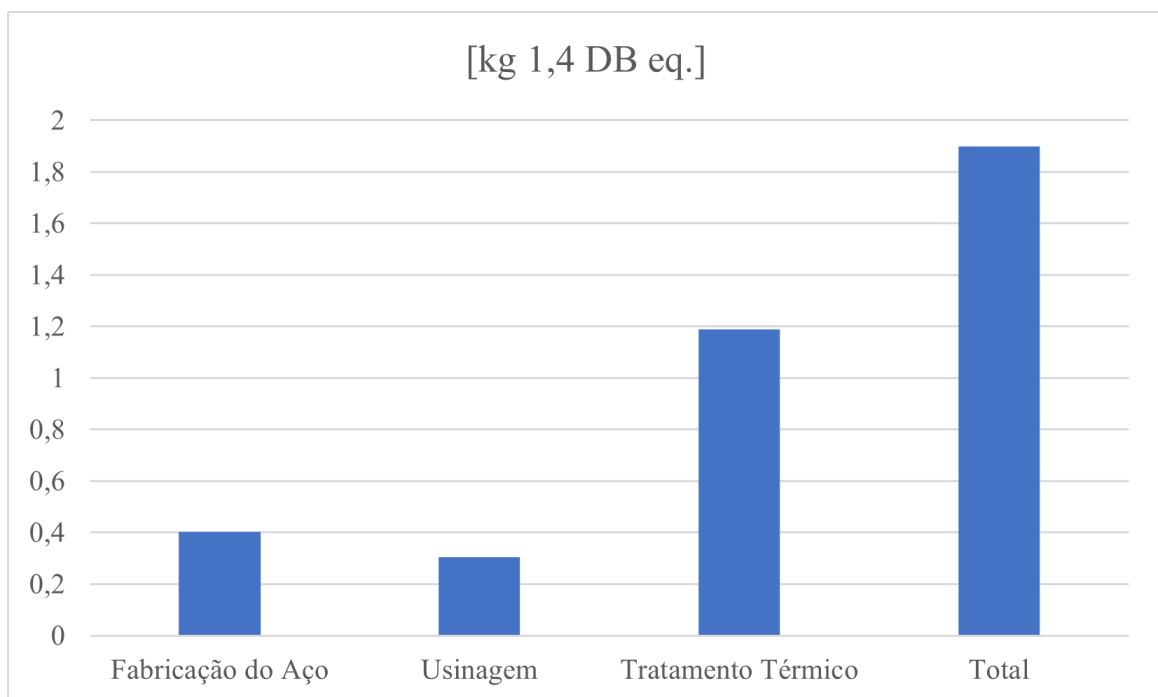
fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 32 – Potencial de Toxicidade Humana, cancerígena



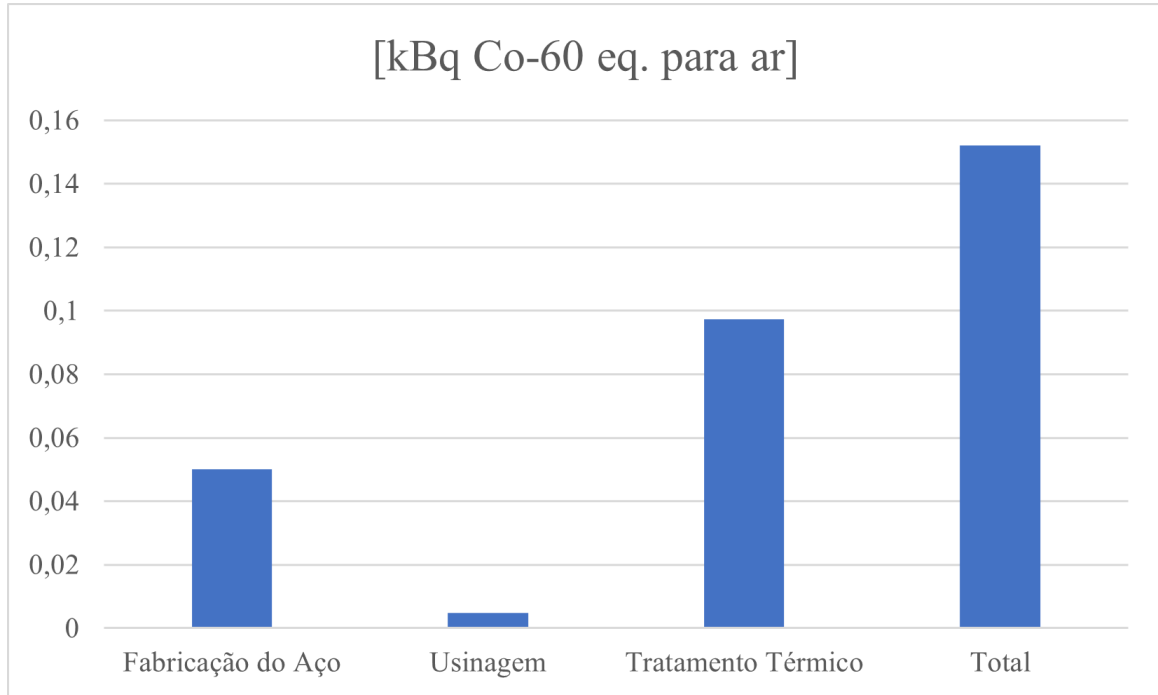
fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 33 – Potencial de Toxicidade Humana, não-cancerígena



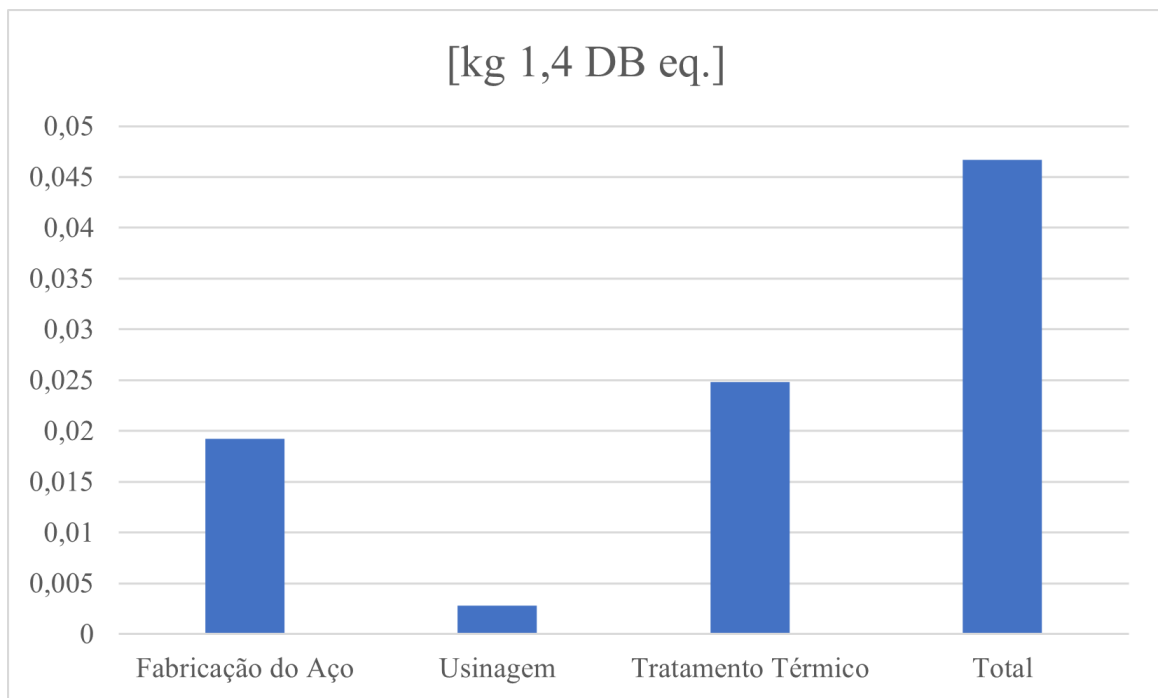
fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 34 – Potencial de Radiação Ionizante



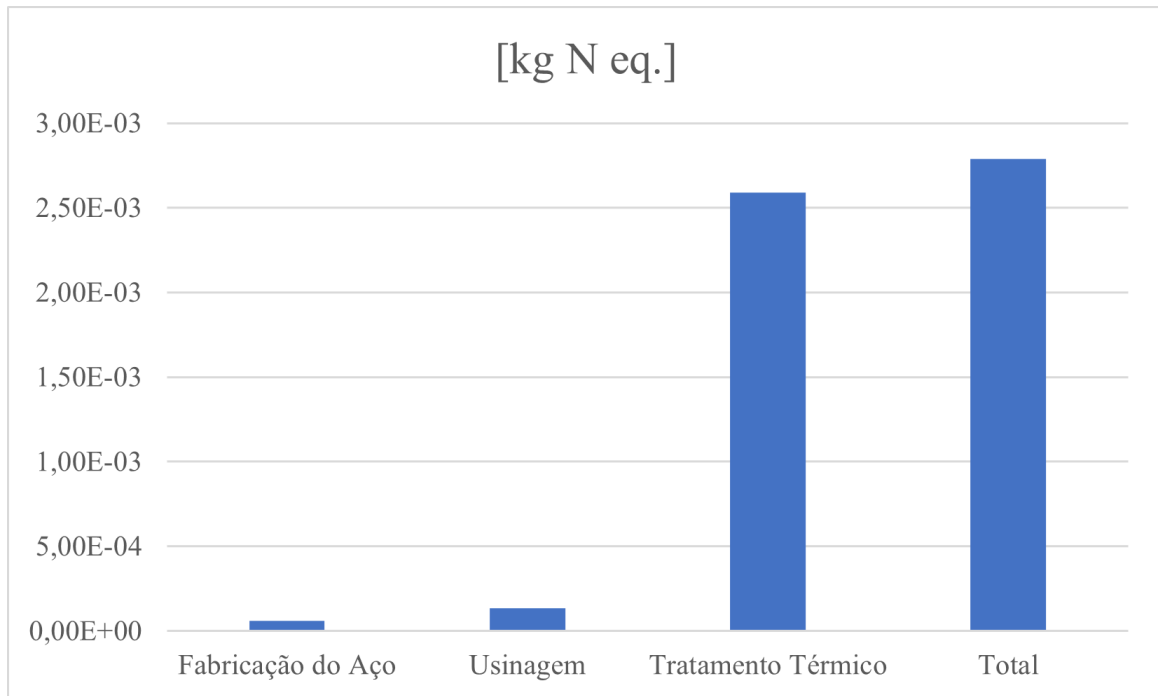
fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 35 – Potencial de Ecotoxicidade Marinha



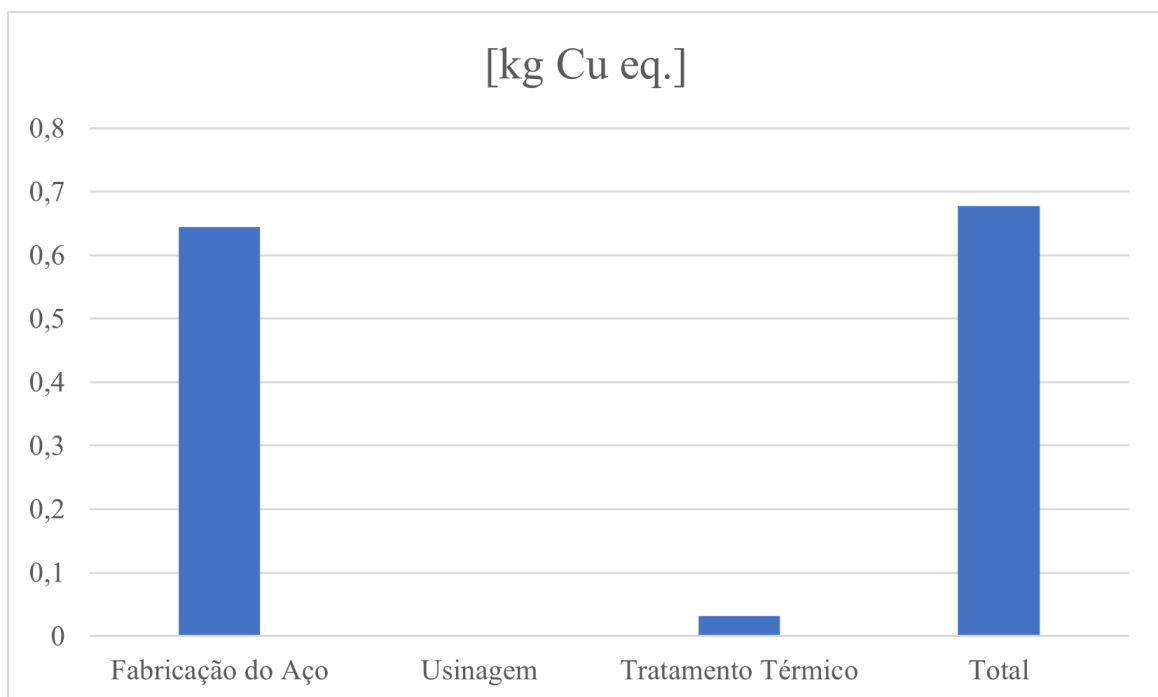
fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 36 – Potencial de Eutrofização Marinha



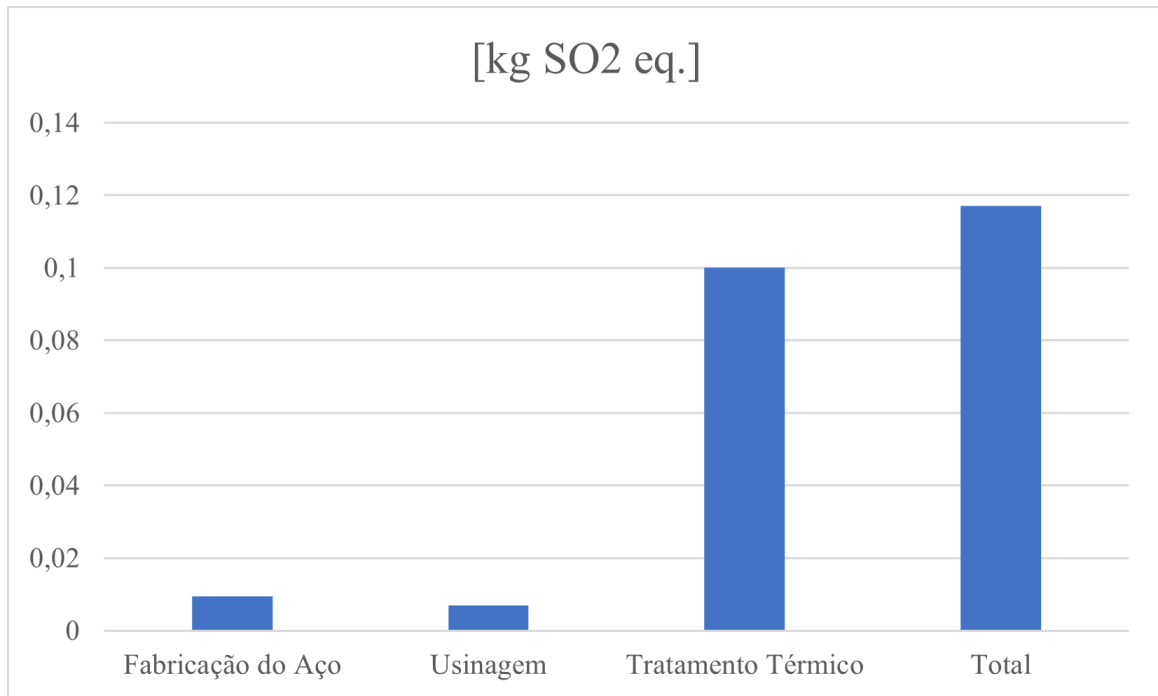
fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 37 – Potencial de Depleção de Metal



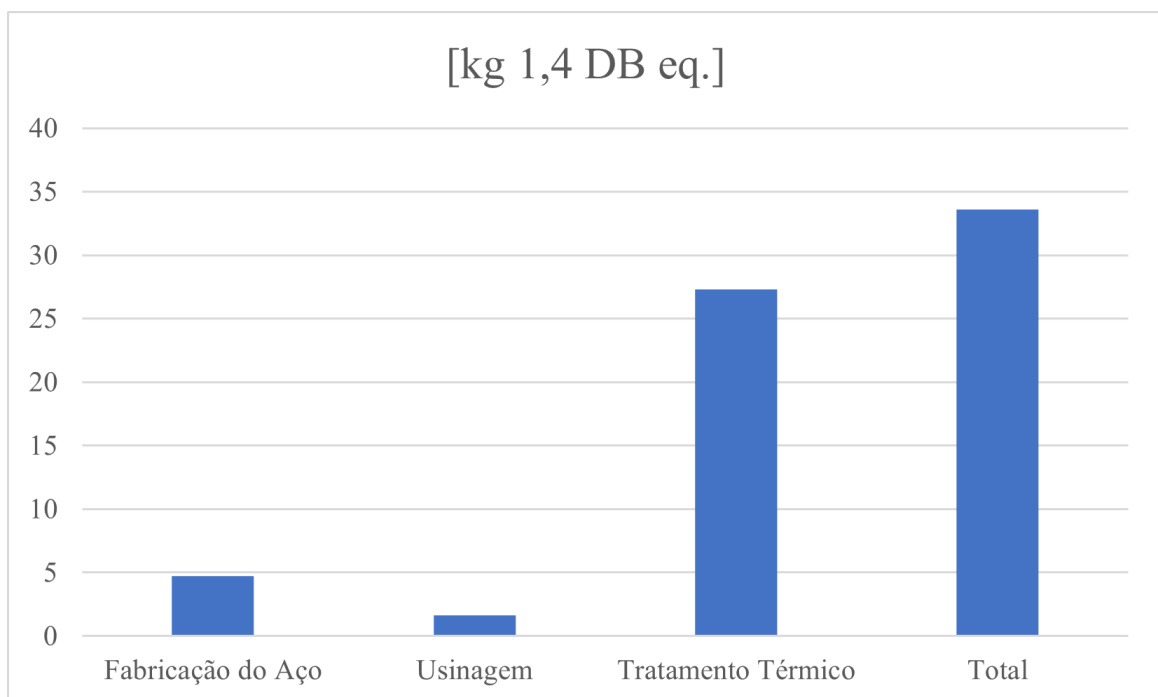
fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 38 – Potencial de Acidificação Terrestre



fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 39 – Potencial de Ecotoxicidade Terrestre



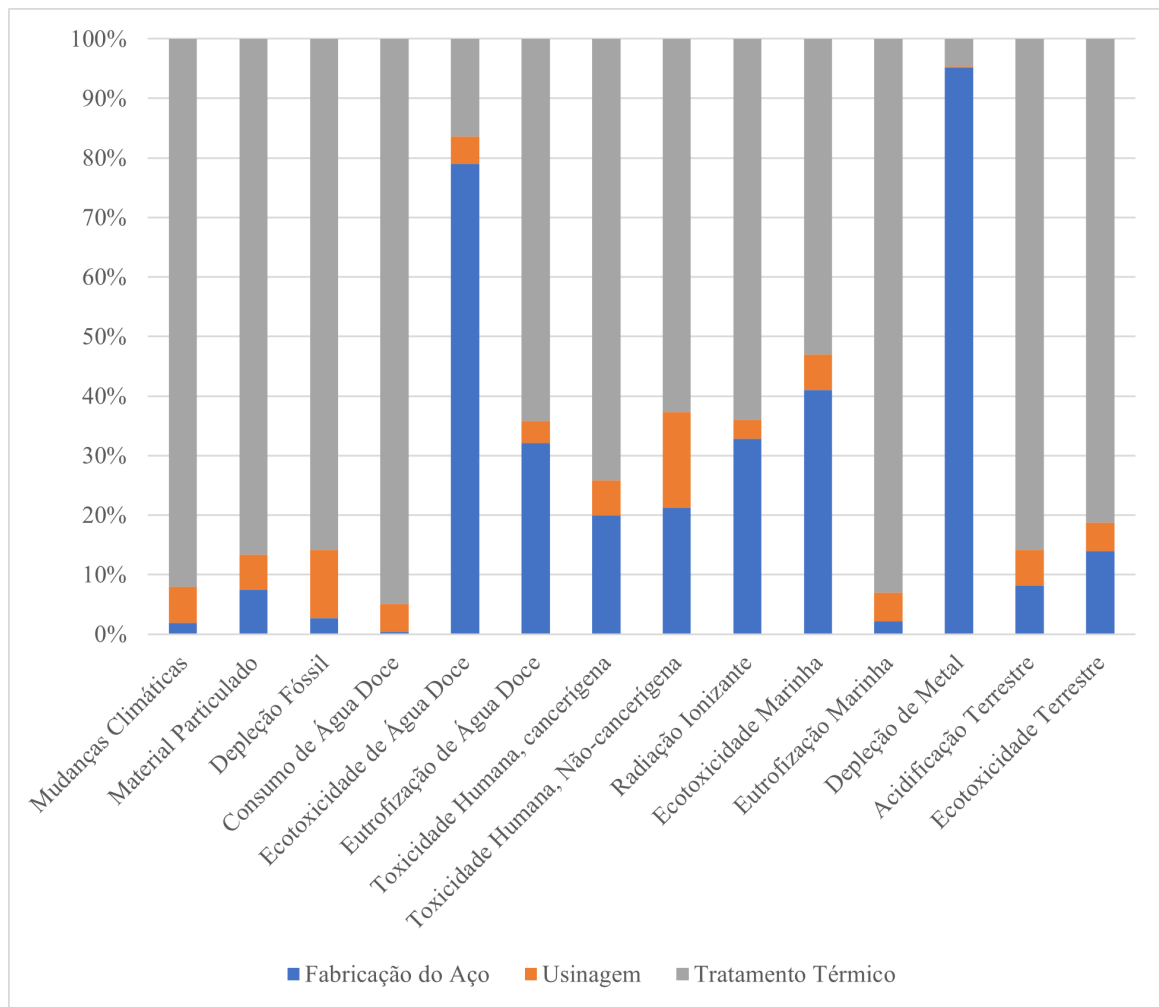
fonte: Produção do Próprio Autor.

As figuras apresentadas reforçam que o *hotspot* está no tratamento térmico e este deve ser analisado melhor. Considerando que utilizar o forno apenas com o volume calculado da unidade funcional adotada neste estudo é um desperdício, pois o volume ocupado por uma peça é cerca de 634:1, o forno possui dimensões internas, em centímetros, de 103x109x95, enquanto o corpo de prova 2x14x60. Foi proposto recalculando os potenciais de impacto ambiental considerando 50% do volume do forno ocupado por peças, normalizando o processo por 317 peças, tornando o estudo mais próximo da realidade. Os novos resultados são apresentados na Tabela 13.

De maneira geral o cenário muda bastante como pode ser visto nas figuras, Figura 40 e Figura 41, no segundo cenário evidencia-se o impacto da produção da liga e da usinagem. Assim sugere-se a possibilidade de uma quantidade ótima de fabricação com os equipamentos que foram utilizados nesse estudo.

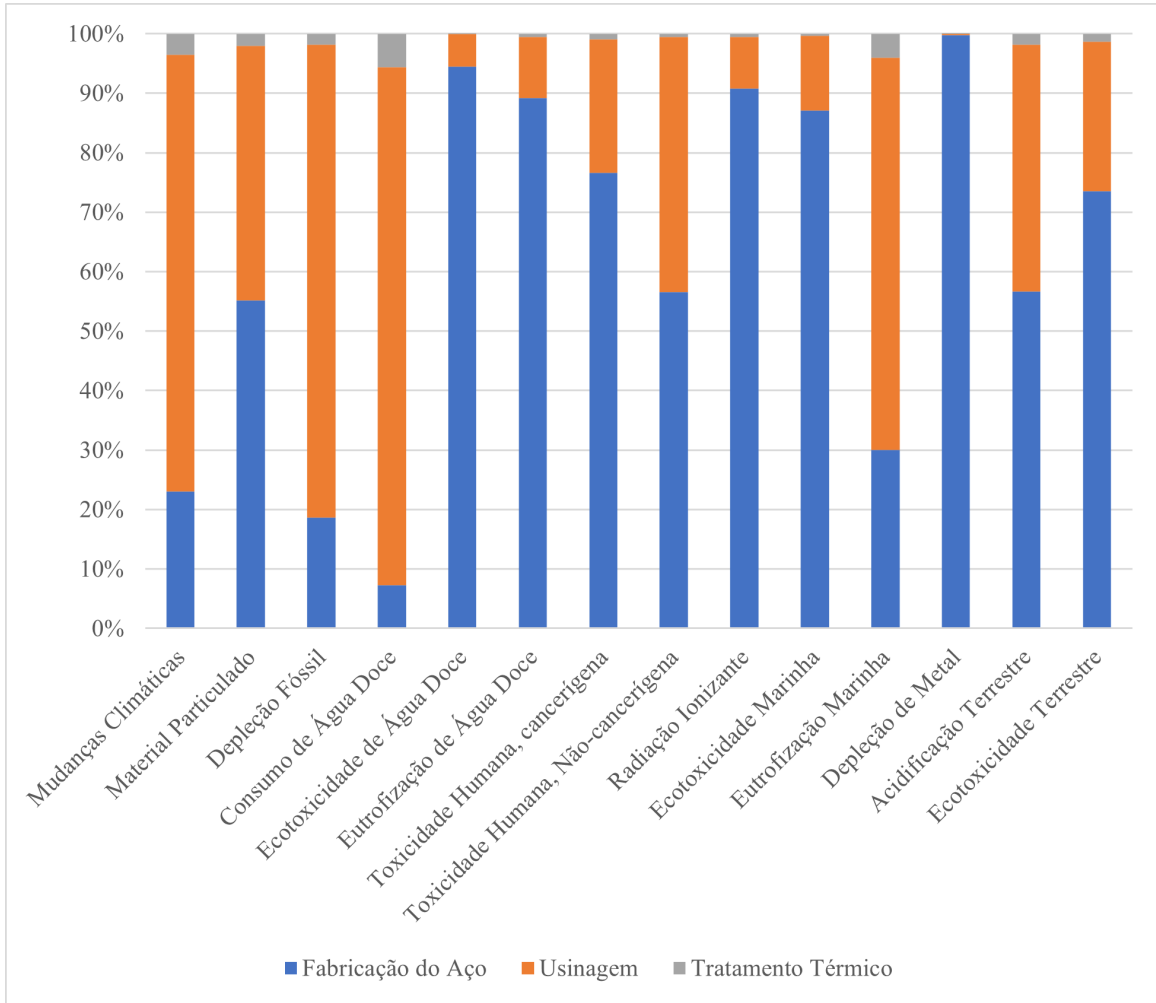
A quantidade ótima de fabricação pode ser descoberta pela obtenção de novos cenários de produção e estudos de sensibilidade do sistema produtivo, contudo este trabalho não contempla essas informações e limita-se a esses resultados. Porém considera um comparativo qualitativo com o processo de produção da mesma unidade funcional por manufatura aditiva (MA), porém para o método CML (que também é *midpoint*), Figura 42. Segundo VICO; DIAZ; OLIVEIRA (2021), os *hotspots* da ACV utilizando MA também são os processos que consomem mais eletricidade, considerando que as duas peças são submetidas ao mesmo tratamento térmico e os valores absolutos de impacto ambiental (utilizando os mesmos métodos de AICV) seriam os mesmos, o processo de fabricação por MA mostra-se mais impactante pelos percentis do tratamento térmico nas categorias de impacto ambiental serem menores. Então, faz-se necessário também, um estudo da quantidade ótima de produção, para assim definir o melhor cenário de cada processo produtivo e os pontos de inflexão para escolha do processo mais amigável no sentido ambiental.

Figura 40 – Contribuição de cada etapa para AICV - Tratamento Térmico para 1 peça



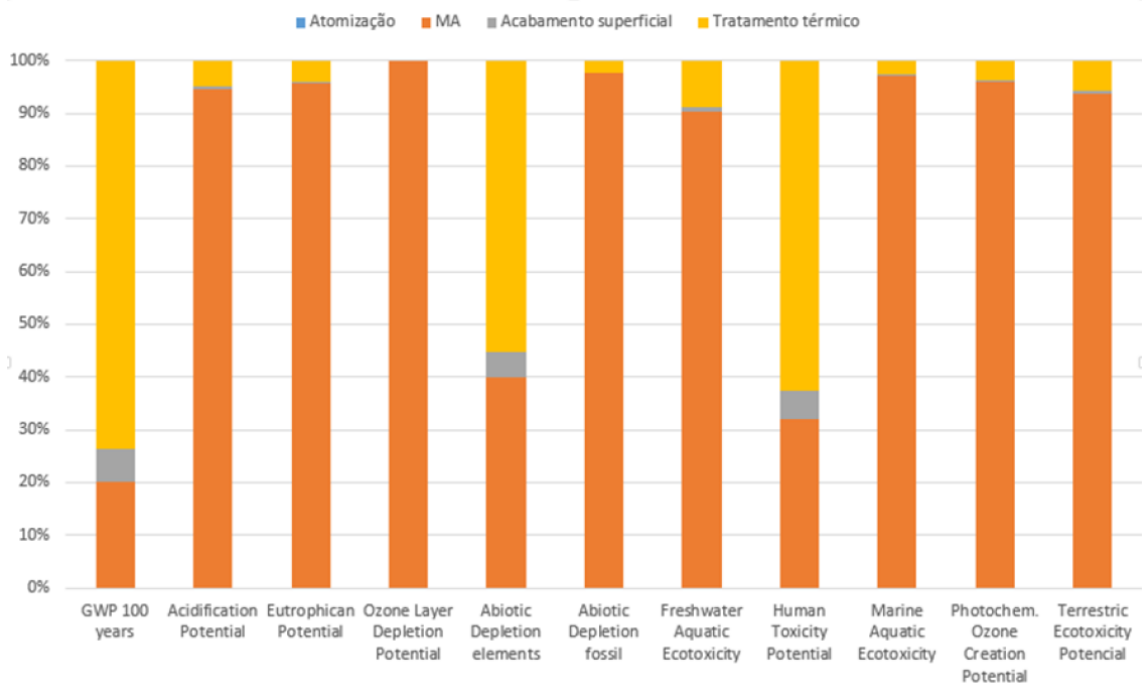
fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 41 – Contribuição de cada etapa para AICV - Tratamento Térmico para 317 peças



fonte: Produção do Próprio Autor.

Figura 42 – Contribuição de cada etapa para AICV - Manufatura Aditiva



fonte: VICO; DIAZ; OLIVEIRA (2021)

Tabela 13 – Valores de Potencial de Impacto Ambiental com TT Normalizado

Potencial de Impacto Ambiental	Unidade	Fabricação da Liga	Manufatura Subtrativa	Tratamento Térmico
Mudanças Climáticas	[kg CO2 eq.]	0,464	1,48	0,0706
Material Particulado	[kg PM2.5 eq.]	0,00286	0,00222	0,000104
Depleção Fóssil	[kg oil eq.]	0,15	0,639	0,015
Consumo de Água Doce	[m3]	0,00643	0,0771	0,00496
Ecotoxicidade de Água Doce	[kg 1,4 DB eq.]	0,0129	0,000741	8,47E-06
Eutrofização de Água Doce	[kg P eq.]	7,00E-05	8,05E-06	4,42E-07
Toxicidade Humana, cancerígena	[kg 1,4-DB eq.]	0,00848	0,00249	9,95E-05
Toxicidade Humana, Não-cancerígena	[kg 1,4-DB eq.]	0,403	0,306	0,00376
Radiação Ionizante	[kBq Co-60 eq. to air]	0,05	0,00478	0,000308
Ecotoxicidade Marinha	[kg 1,4-DB eq.]	0,0192	0,00278	7,82E-05
Eutrofização Marinha	[kg N eq.]	6,11E-05	0,000134	8,18E-06
Depleção de Metal	[kg Cu eq.]	0,644	0,00157	9,83E-05
Acidificação Terrestre	[kg SO2 eq.]	0,00955	0,00699	0,000317
Ecotoxicidade Terrestre	[kg 1,4-DB eq.]	4,71	1,61	0,0863

fonte: Produção do Próprio Autor.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados e discussões apresentadas, apresentam-se as seguintes conclusões:

- A ACV é uma técnica em ascensão e torna-se cada vez mais importante para os planos estratégicos de grandes empresas.
- O objetivo deste trabalho foi concluído. Foram identificados os pontos focais de cada etapa do processo de fabricação e os resultados puderam ser comparados a resultados disponíveis sobre o processo de MA.
- Com a metodologia proposta, os potenciais de impactos ambientais da MS puderam ser comparados com os da MA, ou seja, os desempenhos ambientais destas técnicas de manufatura foram comparados em relação à fabricação de peças de aço maraging 300, portanto a ACV é uma ferramenta útil e definidora do uso destas tecnologias para outros cenários e materiais.
- Este estudo apresenta uma contribuição científica para a literatura recente que avança no campo das técnicas MS e MA, uma vez que poucos trabalhos foram dedicados a esta proposição metodológica. Ainda, contribui para a literatura científica que trata de Engenharia do Ciclo de Vida, uma vez que esta ainda carece de estudos que agreguem resultados às bases de dados.
- Os resultados apresentados concluem que não há prejuízo de funcionalidade em utilizar MS ou MA, mas a escolha depende do processo mais adequado a localidade e, por terem *hotspots* semelhantes, haverá grande sensibilidade a fonte da energia elétrica consumida.
- Como limitação deste trabalho está a falta de literaturas nessa área de estudo e as informações sigilosas de empresas que produzem o aço maraging, uma vez que a receita da liga metálica é um dos fatores de competitividade dessas empresas.
- Como recomendações para trabalhos futuros, o emprego das novas tecnologias de integração de equipamentos como Internet das Coisas mostra-se como fator importante para acompanhamento dos processos e construção de ICVs mais precisos. Além disso, recomenda-se a expansão do sistema de produto, para estudar os cenários das fases de uso e estratégias de fim de vida, que permitirão avaliar novos cenários para o sistema completo.

REFERÊNCIAS

- ABNT-NBR-ISO-14040, A. B. de N. T. **Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Princípios e estrutura**. 2001.
- ABNT-NBR-ISO-14044, A. **Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Requisitos e orientações**. 2009.
- AVILA, J. A. et al. Comparação do efeito do tratamento de envelhecimento no aço maraging processado por forjamento e manufatura aditiva. **I Congresso Brasileiro de Manufatura Aditiva - CBMA di Mais**, 5, 2020.
- CARTER, C. S. The effect of heat treatment on the fracture toughness and subcritical crack growth characteristics of a 350-grade maraging steel. BOEING CO RENTON WA COMMERCIAL AIRPLANE GROUP, 1969.
- DALE, G. A. **Going green moves to higher gear**. 2016. Disponível em: <<https://aerospaceamerica.aiaa.org/year-in-review/going-green-moves-to-higher-gear/>>.
- EMBRAER, C. A. S. **Sustainability is our DNA**. 2021. Disponível em: <<https://embraercommercialaviationsustainability.com/concepts/>>.
- FERREIRA, J. V. R. **Análise de Ciclo de Vida dos Produtos**. [S.l.]: Instituto Politécnico de Viseu, 2004.
- FILLETI, R. A. P. **Modelo dinâmico de inventário de ciclo de vida (ICV) de processo unitário discreto de manufatura: um estudo de caso com retificação cilíndrica externa**. Mestrado — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP - Brasil, 2015.
- FIRMINO, A. S. **Green Manufacturing: Avaliação do Ciclo de Vida de Processos de Usinagem de Tubos de Alumínio**. Mestrado — Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba, SP - Brasil, 2020.
- FORTUNATO, A. et al. Milling of maraging steel components produced by selective laser melting. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Springer, v. 94, p. 1895–1902, 2018.
- GARCIA, F. L. **COMPARAÇÃO ENTRE A MOLDAGEM POR INJEÇÃO E A MANUFATURA ADITIVA UTILIZANDO MATERIAIS POLIMÉRICOS RECICLADOS: UM ESTUDO DE ACV**. Mestrado — Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba, SP - Brasil, 2018.
- HALL, A. M.; CAMPBELL, J. E. Report on the fourth maraging-steel project review. DEFENSE METALS INFORMATION CENTER Battelle Memorial Institute, 1964.
- HALL, A. M.; SLUNDER, C. J. The metallurgy, behavior, and application of the 18-percent nickel maraging steels. BATTELLE MEMORIAL INST COLUMBUS OHI COLUMBUS LABS, p. 141, 1968.
- IATA, T. I. A. T. A. **IATA Guidance Material for Sustainable Aviation Fuel Management 2nd Ed**. Geneva - Switzerland: International Air Transport Association, 2015. Disponível em: <<https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/iata20guidance20material20for20saf.pdf>>.

IATA, T. I. A. T. A. **Sustainable Aviation Fuels Fact Sheet 5**. 2018. Disponível em: <<https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-and-sustainability.pdf>>.

IATA, T. I. A. T. A. **Offsetting CO2 Emissions with CORSIA**. 2021. Disponível em: <<https://www.iata.org/en/programs/environment/corsia/#tab-2>>.

IENVA, I. E. A. **IEnvA Comprehensive Program Overview**. 2019. Disponível em: <<https://www.iata.org/contentassets/d7c439030235477db9b92a932bff4958/ienvabrochure2020.pdf>>.

KELLENS, K. et al. Methodology for systematic analysis and improvement of unit process life cycle inventory (uplci): Part 2: case studies. *Int J Life Cycle Assess*, 2012.

KIM, A. W.; LEE, H. W. Effect of cr contents and heat treating on reverted austenite in maraging steel weldments. **Metals and Materials International**, Metals and Materials International, v. 24, p. 616–625, 2018.

KLOTZ, I. **Recycling rockets**. 2017. Disponível em: <<https://aerospaceamerica.aiaa.org/features/recycling-rockets/>>.

LI, Y. et al. A new 1.9 gpa maraging stainless steel strengthened by multiple precipitating species. **Materials & Design**, Elsevier, v. 82, p. 56–63, 2015.

LIMA FILHO, V. X.; BARROSA, I. F.; ABREU, H. F. G. de. Influence of solution annealing on microstructure and mechanical properties of maraging 300 steel. 2016.

LIU, Y. et al. Environmental and economic-related impact assessment of iron and steel production. a call for shared responsibility in global trade. **Journal of Cleaner Production** 269, p. 20, 2020.

MOREIRA, F. S.; DIAZ, J. A. A.; OLIVEIRA, J. A. de. **Avaliação do Ciclo de Vida de um Corpo de Prova de Aço Maraging 300 Usando Manufatura Subtrativa para Indústria Aeronáutica**. 2021. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/xxxiiicicunesp/456222-avaliacao-do-ciclo-de-vida-de-um-corpo-de-prova-de-aco-maraging-300-usando-manufatura-subtrativa-p>>.

OBERLE, B. et al. **Global Resources Outlook: Natural Resources for the Future We Want (A Report of the International Resource Panel)**. 2019. Disponível em: <<https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook>>.

ONU-WCED. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**. Genebra: [s.n.], 1987.

PIPPO, S. D. Third icao/unoosa symposium focuses on space harmony. **The ICAO Journal**, v. 72, p. 14–16, 2017.

QUEIROZ, V. V. **Avaliação de Ciclo de Vida de Uma Peça Automotiva**. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC - Brasil, 2011.

SILVA, D. A.; MANSONI, P. **Diálogos Setoriais Brasil e união Europeia: análise crítica das principais políticas de estão, manutenção e uso de bancos de dados internacionais de inventários do ciclo de vida de produto**. Brasília, DF - Brasil: Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - IBICT, 2016.

SSA-CORP., S. S. A. C. **Maraging Data Sheet**. 2018. Disponível em: <<http://www.ssa-corp.com/documents/DataSheetMaraging.pdf>>.

VICO, G. P. de A. G.; DIAZ, J. A. A.; OLIVEIRA, J. A. de. **Avaliação do Desempenho Ambiental da Manufatura Aditiva de Peças do Aço Maraging**. 2021. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/xxxiiicicunesp/456227-avaliacao-do-desempenho-ambiental-da-manufatura-aditiva-de-pecas-do-aco-maraging/>>.

VINHOLES, T.; CNN. **Além da Embraer: Conheça outras fabricantes que produzem aviões e drones no país**. 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/alem-da-embraer-conheca-outras-fabricantes-que-produzem-avioes-no-brasil/>>.

WHITMORE, W. A. Three-dimensional printing of “green” fuels for low-cost small spacecraft propulsion systems. **JSR Spacecraft Rockets**, AIAA, v. 55, p. 13–26, 2018.

ZHANG, Z. et al. Microstructural mechanisms of fatigue crack non-propagation in trip-maraging steels. **International Journal of Fatigue**, Elsevier, v. 113, p. 126–136, 2018.

APÊNDICE A – PLANILHA DE ESTUDO DE TEMPO E POTÊNCIA

Etapa	MAR - Laminado	Tempo Incremental (minutos)	Tempo Absoluto (minutos)	Duração (segundos)	Ferramenta de Usinagem	Potência Aparente [kVA]	Consumo [kVAh]	Soma etapas [kVAh]
1	Esquadrear blank nas dimensões finais de 15 x 60 mm							
1.1	Facear Lateral A de 25,1 para 24,6 mm Obs.: 4 peças usinadas simultaneamente							
1.1.1	Montar peças na morsa	02:27	02:27	147	Fresa Ø 19 mm	5,103	0,208	
1.1.2	Usinar	02:51	05:18	171		7,652	0,363	
1.1.3	Desmontar peças da morsa	00:23	05:41	23		5,075	0,032	
	INTERVALO ENTRE UMA ETAPA E OUTRA, ABRANGENDO METROLOGIA DAS PEÇAS E AJUSTE DO PROGRAMA CNC PARA AS DIMENSÕES OBTIDAS NA ETAPA 1.1	07:19	13:00	439		5,086	0,620	0,620
1.2	Facear Lateral B de 24,6 para 15,0 mm Obs.: 4 peças usinadas simultaneamente							
1.2.1	Montar peças na morsa	03:44	16:44	224	Fresa Ø 19 mm	5,094	0,317	
1.2.2	Usinar	07:26	24:10	446		7,623	0,344	
1.2.3	Desmontar peças da morsa	00:19	24:29	19		5,082	0,027	
1.3	Facear Topo A de 70,12 para 69,80 mm Obs.: 4 peças usinadas simultaneamente							
1.3.1	Montar peças na morsa	03:18	27:47	198	Fresa Ø 19 mm	5,077	0,279	
1.3.2	Usinar	02:18	30:05	138		7,644	0,293	
1.3.3	Desmontar peças da morsa	00:16	30:21	16		5,111	0,023	
	INTERVALO ENTRE UMA ETAPA E OUTRA, ABRANGENDO METROLOGIA DAS PEÇAS E AJUSTE DO PROGRAMA CNC PARA AS DIMENSÕES OBTIDAS NA ETAPA 1.3	05:49	36:10	349		5,056	0,490	0,490
1.4	Facear Topo B de 69,8 para 60,0 mm Obs.: 4 peças usinadas simultaneamente							
1.4.1	Montar peças na morsa	03:05	39:15	185	Fresa Ø 19 mm	5,067	0,260	
1.4.2	Usinar	07:27	46:42	447		7,661	0,251	
1.4.3	Desmontar peças da morsa	00:24	47:06	24		5,089	0,024	
	INTERVALO ENTRE UMA ETAPA E OUTRA, ABRANGENDO METROLOGIA DAS PEÇAS E AJUSTE DO PROGRAMA CNC PARA AS DIMENSÕES OBTIDAS NA ETAPA 1.4	08:41	55:47	521		5,083	0,736	0,736
2	Usinar CP conforme desenho							
2.1	Usinar Perfil Lateral A e Lateral B Obs.: 1 peça de cada vez							
2.1.1	Montar peça 1 no dispositivo	03:16	59:03	196	Fresa Ø 8 mm	5,097	0,278	
2.1.2	Usinar peça 1	04:06	63:09	246		7,651	0,523	
2.1.3	Desmontar peça 1 do dispositivo	00:14	63:23	14		5,066	0,020	
2.1.4	Montar peça 2 no dispositivo	02:24	65:47	144		5,072	0,203	
2.1.5	Usinar peça 2	04:06	69:53	246		7,638	0,522	
2.1.6	Desmontar peça 2 do dispositivo	00:19	70:12	19		5,075	0,027	
2.1.7	Montar peça 3 no dispositivo	02:37	72:49	157		5,084	0,222	
2.1.8	Usinar peça 3	04:06	76:55	246		7,641	0,522	
2.1.9	Desmontar peça 3 do dispositivo	00:15	77:10	15		5,068	0,021	
2.1.10	Montar peça 4 no dispositivo	02:48	79:58	168		5,081	0,237	
2.1.11	Usinar peça 4	04:06	84:04	246		7,664	0,524	
2.1.12	Desmontar peça 4 do dispositivo	00:27	84:31	27		5,078	0,038	
2.2	Usinar Faces Superior e Inferior Obs.: 1 peça de cada vez							
2.2.1	Montar peça 1 na morsa	03:15	87:46	195	Fresa Ø 19 mm	5,097	0,276	
2.2.2	Usinar face Superior peça 1	01:28	89:14	88		7,651	0,187	
2.2.3	Desmontar peça 1 da morsa	00:16	89:30	16		5,066	0,023	
2.2.4	Montar peça 2 na morsa	04:48	94:18	288		5,072	0,406	
2.2.5	Usinar face Superior peça 2	01:53	96:11	113		7,638	0,240	
2.2.6	Desmontar peça 2 da morsa	00:19	96:30	19		5,075	0,027	
2.2.7	Montar peça 3 na morsa	03:27	99:57	207		5,084	0,292	
2.2.8	Usinar face Superior peça 3	01:37	101:34	97		7,641	0,206	
2.2.9	Desmontar peça 3 da morsa	00:14	101:48	14		5,068	0,020	
2.2.10	Montar peça 4 na morsa	04:15	106:03	255		5,081	0,360	
2.2.11	Usinar face Superior peça 4	01:39	107:42	99		7,664	0,211	
2.2.12	Desmontar peça 4 da morsa	00:21	108:03	21		5,078	0,030	
	INTERVALO ENTRE UMA ETAPA E OUTRA, ABRANGENDO METROLOGIA DAS PEÇAS E AJUSTE DO PROGRAMA CNC PARA AS DIMENSÕES OBTIDAS NAS ETAPAS ENTRE 2.2.1 E 2.2.12	05:10	113:13	310		5,071	0,437	0,437
2.2.13	Montar peça 1 na morsa	03:42	116:55	222	Fresa Ø 19 mm	5,097	0,314	
2.2.14	Usinar face inferior peça 1	02:08	119:03	128		7,651	0,272	
2.2.15	Desmontar peça 1 da morsa	00:19	119:22	19		5,066	0,027	
2.2.16	Montar peça 2 na morsa	04:02	123:24	242		5,072	0,341	
2.2.17	Usinar face inferior peça 2	01:44	125:08	104		7,638	0,221	
2.2.18	Desmontar peça 2 da morsa	00:22	125:30	22		5,075	0,031	
2.2.19	Montar peça 3 na morsa	03:29	128:59	209		5,084	0,295	
2.2.20	Usinar face inferior peça 3	01:56	130:55	116		7,641	0,246	
2.2.21	Desmontar peça 3 da morsa	00:16	131:11	16		5,068	0,023	
2.2.22	Montar peça 4 na morsa	04:34	135:45	274		5,081	0,387	
2.2.23	Usinar face inferior peça 4	02:02	137:47	122		7,664	0,260	
2.2.24	Desmontar peça 4 da morsa	00:17	138:04	17		5,078	0,024	
				8,284		13,867	2,440	

ANEXO A – LAUDO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA AMOSTRA FORJADA UTILIZADA NA MANUFATURA SUBTRATIVA



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 20084324AQSP - Rev. 3 Fl. 1/1



Empresa interessada : **JULIAN ARNALDO AVILA DIAZ**
Av. Professora Isette Correa Fontão, 505 - Jardim das Flores - São João da Boa Vista / SP

Pedido de ensaio : 288318

Natureza do trabalho : **ANÁLISE QUÍMICA**

Indicações fornecidas pelo interessado sobre o material ensaiado:

RECEBIMENTO/DATA.....: 04/08/2020 - Entregue no Laboratório Tork SP

IDENTIFICAÇÃO.....: Maraging 300

QUANTIDADE.....: 01 amostra

REF. DO CLIENTE.....: E-mail de 03/08/2020

PROPOSTA TORK Nº: 2007007PR-D

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)

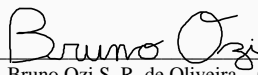
Carbono	(C)	0,011
Silício	(Si)	0,05
Manganês	(Mn)	0,03
Fósforo	(P)	0,005
Enxofre	(S)	< 0,001
Cromo	(Cr)	0,03
Níquel	(Ni)	18,53
Molibdênio	(Mo)	4,50
Alumínio	(Al)	0,10
Titânio	(Ti)	0,81
Nitrogênio	(N)	0,021
Cobalto	(Co)	9,58
Ferro	(Fe)	Restante


INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

1. Procedimentos Tork: séries P-200 e P-300.
2. Procedimentos analíticos utilizados: Emissão Óptica e Volumetria
3. A amostra foi ensaiada conforme: ASTM A 751, ed. 14a
4. Local do Ensaio: Rua Cruzeiro, 419 - Barra Funda - São Paulo / SP - Laboratório: Químico
5. Revisão 3: Conforme solicitação do cliente via e-mail de 12/10/2020, foi acrescentado o elemento Cobalto (Co), sendo que esta revisão cancela e substitui o Relatório de Ensaio Nº 20084324 AQSP - Rev. 2.

Data dos Ensaio: 07 de Agosto de 2020.

Emissão do Relatório: São Paulo, 14 de Outubro de 2020.


Eng. Bruno Ozi S. R. de Oliveira – CREA 2605628078
Signatário Autorizado


Eng. Leopoldo Rosalin de Oliveira – CREA 0600318910
Gerente Técnico do Laboratório Tork SP

Laboratório de Ensaio acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CRL 0056.

Os resultados apresentados no presente documento têm significação restrita e se aplicam somente ao objeto ensaiado ou calibrado. A sua reprodução só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

RAQ - Rev. 4

TORK Controle Tecnológico de Materiais LTDA.

KE

TORK SP: Rua Cruzeiro, 419 - CEP 01137-000 - Tel./Fax: (11) 3392-3902 - e-mail: tork@laboratorios-tork.com.br
TORK BARRA FUNDA: Rua Dr. Ribeiro de Almeida, 203 - CEP: 011370-020 - Tel./Fax: (11) 3392-3902 - e-mail: tork@laboratorios-tork.com.br

ANEXO B – LAUDO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA AMOSTRA FABRICADA POR MANUFATURA ADITIVA



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 21036273AQSP

Fl. 1/1



Empresa interessada : **FELIPE STRINGA MOREIRA**
Avenida Professora Isette Corrêa Fontão, 505 - Jardim das Flores - São João da Boa Vista / SP

Pedido de ensaio : 290139

Natureza do trabalho : **ANÁLISE QUÍMICA**

Indicações fornecidas pelo interessado sobre o material ensaiado:

RECEBIMENTO/DATA.....: 22/03/2021 - Entregue no Laboratório Tork SP

MATERIAL.....: Aço Maraging

QUANTIDADE.....: 01 amostra

REF. DO CLIENTE.....: E-mail de 19/03/2021

PROPOSTA TORK Nº: 2102022PRA-Rev.1

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)

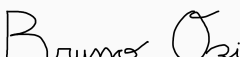
Carbono	(C)	0,008
Silício	(Si)	0,08
Manganês	(Mn)	0,02
Fósforo	(P)	0,002
Enxofre	(S)	< 0,001
Cromo	(Cr)	0,17
Níquel	(Ni)	18,82
Molibdênio	(Mo)	4,46
Alumínio	(Al)	0,06
Titânio	(Ti)	1,45
Cobalto	(Co)	8,80
Nitrogênio	(N)	0,007
Ferro	(Fe)	65,8 (Por diferença)


INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

1. Procedimentos Tork: séries P-200 e P-300.
2. Procedimentos analíticos utilizados: Emissão Óptica e Volumetria
3. A amostra foi ensaiada conforme: ASTM A 751, ed. 14a
4. Local do Ensaio: Rua Cruzeiro, 419 - Barra Funda - São Paulo / SP - Laboratório: Químico

Data dos Ensaio: 26 de Março de 2021.

Emissão do Relatório: São Paulo, 29 de Março de 2021.


 Eng. Bruno Ozi S. R. de Oliveira – CREA 2605628078
 Signatário Autorizado


 Eng. Leopoldo Rosalin de Oliveira – CREA 0600318910
 Gerente Técnico do Laboratório Tork SP

Laboratório de Ensaio acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CRL 0056.

Os resultados apresentados no presente documento têm significação restrita e se aplicam somente ao objeto ensaiado ou calibrado. A sua reprodução só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

RAQ-4 - Rev.0

TORK Controle Tecnológico de Materiais LTDA.

KE

TORK SP: Rua Cruzeiro, 419 - CEP 01137-000 - Tel./Fax: (11) 3392-3902 - e-mail: tork@laboratorios-tork.com.br
TORK BARRA FUNDA: Rua Dr. Ribeiro de Almeida, 203 - CEP: 011370-020 - Tel./Fax: (11) 3392-3902 - e-mail: tork@laboratorios-tork.com.br