

Análise do Ciclo de Vida da compostagem de *Eichhornia Crassipes* - Jacinto d'água

Marcella Gonçalves de Paula

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para
obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental no âmbito da
dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.*

Orientado por
Professor Doutor Artur Jorge de Jesus Gonçalves
Professora Doutora Cristiane Kreutz

**Bragança
2022**

Análise do Ciclo de Vida da compostagem de *Eichhornia Crassipes* - Jacinto d'água

Marcella Gonçalves de Paula

Orientada por:
Professor Doutor Artur Jorge de Jesus Gonçalves
Professora Doutora Cristiane Kreutz

Bragança

2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, que construiu meu caminho até aqui me colocando em situações que me capacitaram até a realização deste. Aos meus pais Elias da Silva Paula e Gislene de Paula Gonçalves, pelo incentivo, suporte e por todo crédito emocional e financeiro depositados nessa caminhada, por plantarem sonhos em mim e me auxiliarem até os frutos. Aos meus irmãos Emanuel Gonçalves de Paula e Camilla Gonçalves de Paula, que mesmo com muita distância e pouca idade me motivaram a concluir essa jornada.

Ao meu orientador Professor Doutor Artur Jorge de Jesus Gonçalves pela oportunidade de desenvolvimento deste, pelo conhecimento transmitido, disponibilidade prestada, e acolhimento na instituição. A minha orientadora Professora Doutora Cristiane Kreutz, pela oportunidade de realização desta conexão Brasil-Portugal. Ao projeto BioComp 2.0, pelo tema proposto.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela oportunidade de ampliar meus horizontes com o acordo internacional de dupla-diplomação. Ao Instituto Politécnico de Bragança, pela experiência, conhecimento, estrutura e oportunidades que possui. Ao corpo docente de ambas instituições que sempre demonstraram capacidade e disponibilidade, os quais me formaram e contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste, grata pelos momentos de aprendizagem e convivência.

Aos meus amigos Karolina e Felipe, por me aconselharem desde a faculdade no Brasil, por todo auxílio prestado no processo de mudança e todos os momentos compartilhados que amenizaram a saudades de casa. As minhas amigas, companheiras de casa, Gabriela e Kayane, por compartilharem da maioria dos momentos vividos até aqui, os felizes e os e nem tanto. A Laís, que me auxiliou demasiado no desenvolvimento deste trabalho, por toda disponibilidade e amizade. Aos demais amigos adquiridos nessa cidade, em especial Ana Beatriz, Karoline, Gustavo, Leonardo, Regis, Breno, Pedro, Isabella e outros que ajudaram a suportar a saudade de casa tornando meus momentos aqui especiais. Aos amigos Guilherme, Yuri e outros do Brasil que mantiveram contato e sempre mandaram palavras de apoio e incentivo.

A todos que contribuíram de maneira direta ou indireta para minha formação pessoal e acadêmica até aqui, o meu muito obrigada.

“Pois eu estou certo de que Deus, que começou esse bom trabalho na vida de vocês, vai continuá-lo até que ele esteja completo no dia de Cristo Jesus”

Filipenses 1:6

RESUMO

Eichhornia crassipes é uma planta aquática tipo erva pertence à família Pontederiaceae, nativa da América do Sul e popularmente conhecida como “jacinto d’água” ou “aguapé”. Encontrada nos cinco continentes, e em mais de 50 países esta invasora de lagos, lagoas e qualquer zonas úmidas formam rapidamente densos tapetes flutuantes, favorecendo a eutrofização. Devido a possibilidade desta espécie ser utilizada como adubo verde, sua compostagem é uma opção de combate. A compostagem gera impactos ambientais que necessitam ser mensurados. Portanto, o objetivo da presente dissertação é utilizar a análise de ciclo de vida como ferramenta para calcular os impactos gerados pela compostagem, realizada sob direcionamento do Projeto BioComp. 2.0, com o propósito de obter novos métodos de combate à invasora na Região Centro de Portugal. Para tal foi realizada uma análise *cradle-to-gate* utilizando a metodologia descrita na ISO 14040, fazendo uso do software GaBi profissional, analisando as seguintes categorias de impacto: Acidificação; Eutrofização; Depleção do ozônio estratosférico; Formação de foto-oxidantes; Potencial de aquecimento global, e; Potencial do global excluindo o carbono biogênico. Estas categorias foram analisadas utilizando o método CML 2001. Os resultados obtidos demonstraram que a colheita do jacinto é a etapa que influencia mais categorias de impacto, devido ao elevado consumo de diesel, os transportes foram o segundo processo com maiores influências seguido pelo processo de compostagem. Os resultados indicaram que a compostagem é um destino ambientalmente correto, visto os malefícios que a invasora traz ao ambiente quando está no corpo d’água e por ser uma técnica que não irá disseminá-la. Estudos futuros com fronteiras de análise ampliadas devem ser realizado para comprovar esse benefício.

Palavras chave: ACV; Jacinto de água; Categorias de impacto; Compostagem.

ABSTRACT

Eichhornia crassipes is a grass-like aquatic plant belonging to the Pontederiaceae family, native to South America and popularly known as "water hyacinth" or "aguapé". Found on five continents, and in more than 50 countries, this invader of lakes, ponds, and any other wetlands quickly forms dense floating mats, favoring eutrophication. Due to the possibility of this species being used as green manure, its composting is an option. Composting generates environmental impacts that need to be measured. Therefore, the objective of this dissertation is to use the life cycle analysis as a tool to calculate the impacts generated by composting, performed under the direction of the BioComp. 2.0 Project, with the purpose of obtaining new methods to combat the invasive species in the Central Region of Portugal. For this, a cradle-to-gate analysis was performed using the methodology described in ISO 14040, making use of the GaBi professional software, analyzing the following impact categories: Acidification; Eutrophication; Stratospheric ozone depletion; Formation of photo-oxidants; Global warming potential, and; Global warming potential excluding biogenic carbon. These categories were analyzed using the 2001 CML method. The results obtained showed that hyacinth harvesting is the stage that influences the most impact categories due to high diesel consumption, transportation was the second process with the greatest influences followed by the composting process. The results indicated that composting is an environmentally correct destination, given the harm that the invader brings to the environment when it is in the body of water and because it is a technique that will not spread it. Future studies with expanded boundaries of analysis should be carried out to prove this benefit.

Keywords: LCA; Water Hyacinth; Impact categories; Composting.

Sumário

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 3 |
| 1.2 | ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO | 3 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 4 |
| 2.1 | EUTROFIZAÇÃO | 4 |
| 2.2 | JACINTO D'ÁGUA - EICHHORNIA CRASSIPES | 5 |
| 2.3 | COMPOSTAGEM | 7 |
| 2.4 | COMPOSTAGEM DO JACINTO D'ÁGUA | 8 |
| 2.5 | ANÁLISE DO CICLO DE VIDA | 9 |
| 2.5.1 | FASES DA ACV | 11 |
| 2.5.2 | DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ÂMBITO | 12 |
| 2.5.3 | INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (ICV) | 12 |
| 2.5.4 | AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO CICLO DE VIDA (AICV) | 13 |
| 2.5.5 | INTERPRETAÇÃO DO CICLO DE VIDA | 15 |
| 2.5.6 | ANÁLISE DE CENÁRIOS | 15 |
| 2.5.7 | SOFTWARES DE ACV | 16 |
| 3 | MÉTODOS | 17 |
| 3.1 | COMPOSTAGEM DO JACINTO D'ÁGUA | 17 |
| 3.2 | ACV APLICADA À COMPOSTAGEM DO JACINTO D'ÁGUA | 18 |
| 3.2.1 | DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ÂMBITO | 18 |
| 3.2.2 | INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA | 19 |
| 3.2.3 | AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA | 22 |
| 3.2.4 | CATEGORIAS DE IMPACTO | 23 |
| 3.2.5 | CENÁRIOS PROPOSTOS | 25 |
| 3.2.6 | SOFTWARE | 26 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 27 |
| 4.1 | INVENTÁRIO DE DADOS | 27 |
| 4.2 | MODELO GABI | 28 |
| 4.3 | CATEGORIAS DE IMPACTO | 29 |
| 4.4 | CENÁRIOS | 36 |

| | |
|------------------------------------|-----------|
| 4.4.1 COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS _____ | 36 |
| 5 CONCLUSÃO _____ | 39 |
| REFERENCIAS _____ | 42 |
| APÊNDICE _____ | 47 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Fases de uma ACV e aplicações. | 11 |
| Figura 2 - Elementos da Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida..... | 13 |
| Figura 3 - Relação entre as categorias de impactos e Midpoint e Endpoint. | 15 |
| Figura 4 - Localização do local de recolha do Jacinto d'água | 17 |
| Figura 5 - Fronteiras do modelo de ACV da compostagem do Jacinto d'água..... | 19 |
| Figura 6 - Modelagem da etapa de Recolha do jacinto no software GaBi. | 28 |
| Figura 7 - Modelagem da etapa da Compostagem da Formulação 1 do jacinto no software GaBi...29 | |
| Figura 8 - Gráfico de contribuição dos processos, com diesel dissociado, do plano “Recolha” para cada impacto ambiental..... | 31 |
| Figura 9 - Gráfico de contribuição dos processos, com diesel associado, do plano “Recolha” para cada impacto ambiental..... | 32 |
| Figura 10 - Gráfico de contribuição dos processos, com diesel dissociado, do plano “Compostagem – F1” para cada impacto ambiental..... | 33 |
| Figura 11 - Gráfico de contribuição dos processos, com diesel associado, do plano “Compostagem – F1” para cada impacto ambiental..... | 34 |
| Figura 12 - Gráfico de contribuição dos planos "Recolha" e "Compostagem - F1" nas categorias de impacto..... | 35 |
| Figura 13 - Gráfico proporcional de cada tipo de embalagem na contribuição às categorias de impacto estudadas | 37 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Inventário Inputs..... | 20 |
| Quadro 2 - Inventário Outputs..... | 21 |
| Quadro 3 - Método CML e suas características..... | 23 |
| Quadro 4 – Categorias de impacto ambiental do “Plano Principal”..... | 30 |
| Quadro 5 - Resultados das categorias de impacto nos cenários propostos..... | 37 |

SIGLAS E ABREVIATURAS

ACV – Análise do Ciclo de Vida

CB – Casca de batata

TCB – Transporte da casca de batata

BA – Bagaço de azeitona

TBA – Transporte do bagaço de azeitona

E - Eutrofização

A – Acidificação

DOE – Depleção do ozônio estratosférico

PAG – Potencial de aquecimento global

PAGE – Potencial de aquecimento global excluindo carbono biogênico

FF – Formação de foto-oxidante

UE – União Europeia

ISO – International Organization for Standards

DL – Decreto-Lei

AICV – Avaliação de impacto do ciclo de vida

ICV – Inventário do ciclo de vida

1 INTRODUÇÃO

A maioria das introduções de espécies aquáticas nos rios portugueses ocorreu de maneira acidental ou pelo valor ornamental da espécie, como é o caso do jacinto d'água, *Eichhornia crassipes*. Esta, e outras espécies como azola, *Azolla spp.*, ou a pinheirinha-de-água, *Myriophyllum aquaticum*, por exemplo, estão presentes em várias reservas naturais do país que são atravessadas por rios ou possuem zonas úmidas, como nos pauis e açudes. Estas espécies muitas vezes são designadas como infestantes por corroborarem com elevados prejuízos no decréscimo de biodiversidade, afetando as plantas nativas, peixes e invertebrados, prejudicando assim, o funcionamento do ecossistema (Feio & Ferreira, 2019).

Portugal foi pioneiro dentro da Europa Comunitária na introdução de legislação sobre espécies exóticas com o Decreto-Lei nº565/99, de 21 de dezembro, sendo um dos primeiros países da União Europeia a listar plantas exóticas e invasoras a nível nacional. O Regulamento (UE) nº 1143/2014 elenca catorze espécies de plantas exóticas invasoras que causam preocupação, entre as quais se encontra o jacinto d'água (Feio & Ferreira, 2019).

As opções para o controle do jacinto d'água são o combate químico, biológico ou mecânico. Segundo Monteiro et al. (2005), a luta química contra a espécie trouxe vantagens econômicas. Nesta ação houve o uso de herbicidas com baixos efeitos nocivos juntamente com redes nas valas para impedir o deslocamento das plantas. O controle biológico pode ocorrer, com carpas, por exemplo, mas sua aplicação deve ser muito bem estudada. A limpeza mecânica não é totalmente inócua para o ecossistema aquático, pois a movimentação na água mistura-a ao lodo, aumentando a condutividade elétrica o que pode destruir o habitat de macro invertebrados (Monteiro et al., 2005).

Em outros países onde também há invasão do jacinto d'água houve igualmente a implementação de medidas de controle, como por exemplo, no Sri Lanka, onde a espécie é compostada em uma mistura com resíduos orgânicos municipais, cinzas e solo, e vendido a fazendeiros locais e horticultores (Jafari, 2010). Como o jacinto d'água cresce normalmente em águas eutróficas, apresentando grande capacidade de remoção de nitrogênio e fósforo, possui em sua biomassa grande quantidade desses elementos, sendo uma espécie com capacidade de gerar fertilizantes orgânicos de qualidade através da compostagem (ZhiYong et al., 2009; Silva et al., 2011).

Capítulo I: Introdução

A busca por soluções sustentáveis incentiva a pesquisa sobre possíveis destinações para o jacinto. Osoro et al. (2014), obteve sucesso em seus estudos sobre compostos produzidos a partir do jacinto, os fertilizantes orgânicos obtidos aumentaram a produção de milho. Já no trabalho de Mazumder et al. (2020), o jacinto foi retirado de um lago contaminado e submetido a testes de fitotoxicidade, revelando-se a adequação de seu composto para ser usado como fertilizante para o crescimento das plantas.

A compostagem é uma prática que permite que os resíduos sejam valorizados, sendo uma tecnologia estendida para o tratamento de resíduos domésticos, mas também aplicada a resíduos provenientes de atividades industriais (Cadena et al., 2009). A análise de ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta valiosa que deve ajudar os gestores a planejar uma estratégia integrada de gestão de resíduos que forneça resultados ambientais mais preferíveis do que as utilizadas atualmente. A compostagem de resíduos sólidos urbanos estudado por Yay (2015) obteve melhores resultados do que a deposição deste em aterros ou a sua incineração. Atualmente, na região centro de Portugal está em curso o Projeto BioComp. 2.0, que tem o objetivo de realizar estudos e pesquisas a fim de obter compostos eficientes e rentáveis a partir do jacinto, este é formado por equipe multidisciplinares, profissionais e alunos do Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Politécnico de Bragança e a empresa privada Colina Generosa, esta dissertação usa dados recolhidos no âmbito deste projeto.

A compostagem é dividida basicamente em duas fases, denominadas decomposição e cura, é normal que haja necessidade de pré-tratamento e pós-tratamento para melhorar a qualidade do composto. Embora o objetivo das instalações de compostagem seja reduzir o impacto ambiental relacionado aos resíduos sólidos orgânicos, há impactos ambientais e preocupações sociais inevitáveis decorrentes dessa atividade (Cadena et al., 2009).

Portanto é necessário mensurar os impactos ambientais provenientes desta atividade e a análise do ciclo de vida é uma metodologia aplicável, regulamentada pela ISO 14040, definida por esta norma como uma técnica objetiva que avalia os potenciais impactos ambientais associados a um produto ou serviço, desde o berço até o túmulo. Diante disto, essa metodologia pode ser utilizada para avaliar os impactos ambientais do controle do jacinto através de sua compostagem.

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo a Análise do Ciclo de Vida (ACV) da compostagem do Jacinto d'água, como forma de estimar os impactos ambientais causados por essa atividade. Para tal será necessário alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Identificar o escopo e objetivos da avaliação do ciclo de vida da compostagem da espécie;
- Coletar os dados necessários para alcançar os objetivos pré-estabelecidos;
- Criar o modelo de ACV no software GaBi;
- Desenvolver e avaliar dois cenários referentes a embalagem do composto;
- Analisar os resultados obtidos.

1.2 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação foi estruturada da seguinte maneira: neste Capítulo, é apresentada uma introdução ao tema, contendo a contextualização do assunto a ser tratado, os objetivos e a estrutura do trabalho; Capítulo II é composto pelo referencial teórico onde é abordado os conceitos necessários para o desenvolvimento do trabalho, como os conceitos de eutrofização e compostagem e descrição da espécie estudada, e uma apresentação da estrutura de uma ACV; Capítulo III contém os métodos, onde há descrição da metodologia aplicada a este trabalho com as etapas de ACV personalizadas com os dados necessário para a pesquisa; Capítulo IV composto pelos resultados dos objetivos, discussão deste com trabalhos semelhantes, e; Capítulo V, com a conclusão deste estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Eutrofização

A eutrofização é um processo que ocorre na água quando os fatores que estimulam a produção autotrófica tornam-se ótimos (Parma, 1979). Os rios e os lagos ou reservatórios são enriquecidos por efluentes sanitários e fertilizantes agrícolas. Quando estas águas residuais não são tratadas antes do despejo no corpo hídrico, podem poluir e, em seguida, enriquecer as águas com os nutrientes, enquanto que, quando tratadas, as águas residuais e os fertilizantes agrícolas podem enriquecer e, em seguida, poluir (Lund, 1967).

O enriquecimento tem-se tornado tão grande que populações indesejáveis de organismos produzem poluição, por sua decomposição, pois os nutrientes entram no lago, se incorporam as algas e outras formas de vida e, quando estas morrem se assentam ao fundo sendo digeridas por bactérias, esses nutrientes solubilizados ficam então disponíveis para o crescimento de fitoplâncton (Lund, 1967; Sawyer, 1966).

A forma mais direta de avaliar a eutrofização é realizando medições da produtividade biológica, esta tem o nível elevado na presença principalmente de dióxido de carbono, nitrogênio e o fósforo, porém estes não são os únicos que influenciam a eutrofização, a luz, temperatura, hormônios vegetais por exemplo, também são alguns dos fatores a se considerar (Parma, 1979; Sawyer, 1966).

Os efeitos da eutrofização são variáveis e dependem da finalidade do lago ou reservatório para dizer se estes são incômodos. Como consequência da eutrofização podem ocorrer o crescimento de diatomáceas nos filtros de água, desenvolvimento excessivo de macrófitas, florescimento de algas verde azuladas, diminuição da riqueza de espécies em uma reserva natural, entre outros exemplos (Parma, 1979; Sawyer, 1966).

As lagoas das Sete-Cidades e Furnas são exemplos em Portugal de águas frequentemente eutrofizadas, um problema que é global e que vem afetando, indiscriminadamente, meios aquáticos naturais de todo o planeta. As fontes pontuais de nutrientes, provenientes da localidade das Sete-Cidades, foram já desviadas da Lagoa através da construção de um sistema de interceptação e coleta de águas residuais, porém a carga nutritiva que presentemente aflui até a massa de água é proveniente

do escoamento superficial, como também nas lagoas de Furnas, onde o escoamento total médio é maior do que as lagoas das Sete-Cidade, mesmo apresentando menor área (Santos et al., 2004).

2.2 Jacinto d'água - *Eichhornia Crassipes*

Macrófita aquática é a denominação utilizada para caracterizar vegetais que habitam os variados ambientes aquáticos, desde brejos até os submersos por completo. Esta é uma denominação genérica, que independe de aspectos taxonômicos (Esteves, 1988). De acordo com Esteves (1998), as macrófitas aquáticas podem ser classificadas em: Macrófitas aquáticas submersas; Macrófitas aquáticas com folhas flutuantes; Macrófitas aquáticas submersas enraizadas; Macrófitas aquáticas submersas livres, e; Macrófitas aquáticas flutuantes. Neste último grupo destaca-se a *Eichhornia crassipes* (Esteves, 1988).

Eichhornia crassipes é uma planta aquática, pertence à família Pontederiaceae, nativa da América do Sul e popularmente conhecida como “jacinto d'água” ou “aguapé” (*Eichhornia Crassipes*, n.d.-a; *Eichhornia Crassipes* (Mart.) Solms, n.d.). Sendo uma planta de flutuação livre, todos os seus nutrientes são retirados da d'água e podem atingir um metro de altura. Sua reprodução ocorre por meio de caules curtos que se irradiam da base da planta para formar plantas filhas, também fazem uso da semente para reprodução (*Eichhornia Crassipes*, n.d.-b).

Esta espécie que possui preferência por lagoas, açudes, valas e canais de rega, por serem águas lênticas (*Eichhornia Crassipes*, n.d.-a). Atualmente esta espécie já está difundida, sendo encontrada em mais de 50 países nos cinco continentes, é uma ameaça a maioria das águas calmas e seu controle é economicamente expansivo (*Eichhornia Crassipes Em Global Plants No JSTOR*, n.d.; S. Lower, M. Browner, S. Boudjelas, 2000). Invasora de lagos, lagoas e qualquer zonas úmidas formam rapidamente densos tapetes flutuantes, pois possuem a capacidade de dobrar de tamanho em 12 dias, esses tapetes restringem a luz e o oxigênio do ambiente subaquático, o que favorece a eutrofização, reduzindo drasticamente a diversidade biológica (*Eichhornia Crassipes*, n.d.-b; S. Lower, M. Browner, S. Boudjelas, 2000). Assim, é muito importante tratar a erva daninha a tempo para evitar uma poluição do meio ambiente causada pela morte e pela decomposição dela (Chu et al., 2006).

Em 2002, Xangai gastou mais de USD 10 milhões retirando de suas águas de mais de 1,68 milhões de toneladas de jacinto d'água. No Lago Dianchi, na China, 60% das espécies locais foram extintas após a invasão do jacinto d'água. Em longo prazo, o manejo desta espécie deve ser

implementado levando em consideração todo o ecossistema. Chu et al. relata sobre o inibidor de reprodução assexuada $KWHO_2$ ser um agente de controle adequado em áreas onde a água é usada para beber, em lagos, piscinas, riachos e águas lentas e menciona a potencialidade do jacinto d'água como fertilizante orgânico (Chu et al., 2006).

Em um estudo realizado na biomassa de jacinto d'água no México, apresentou que os elementos inorgânicos detectados na espécie foram o potássio (K), cloro (Cl), cálcio (Ca), sódio (Na), magnésio (Mg), silício (Si), alumínio (Al), fósforo (P), enxofre (S), manganês (Mn), ferro (Fe) e titânio (Ti) (Pintor-Ibarra et al., 2018). Por ser uma espécie muito eficiente utilizando nutrientes do meio aquático e energia solar para produção de biomassa, contendo nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), que são elementos essenciais ao crescimento das plantas, seu uso como insumo orgânico para os solos se faz lógico. A espécie se mostra útil na solução de algumas necessidades urgentes, como na produção de alimentos, concentrado de proteína de folha, substrato para cultivo de cogumelos, composto, fertilizante, produção de energia, entre outros (Kafle et al., 2009).

A espécie pode ser utilizada na terra como adubo verde, ser útil como cobertura morta ou ser compostada. No processo de compostagem a planta é retirada da água, seca e misturada com outros elementos, como cinzas, solos, e estrume animal, em climas mais quente este processo ocorre mais rápido. O composto obtido aumenta a fertilidade do solo e o rendimento da colheita, além de que geralmente melhora a qualidade do solo (Jafari, 2010).

Esta é uma espécie invasora em Portugal, onde o seu cultivo, detenção e/ou propagação são proibidos desde 1974, de acordo com a DL 165/74, e é classificada como espécie invasora preocupante na União Europeia desde 1999 pela DL 565/99. Esta espécie está entre as macrófitas flutuantes que mais causam prejuízos no país, tanto em canais de rega e drenagem como em sistemas naturais, como no caso do Paúl do Boquilobo, da Alverca da Golegã, do rio Sorraia e as Pateira de Fermentelos (Catarino et al., 2001).

O jacinto d'água é a espécie invasora que ocupa maior área na região hidrográfica do rio Tejo. A remoção da vegetação aquática para melhoria no escoamento é uma prática comum nos rios portugueses, mas locais invadidos por espécies como o jacinto d'água. Para além de processos naturais, a propagação ocorreu também de forma voluntária para supostamente melhorar a qualidade da paisagem, devido suas características ornamentais (Feio & Ferreira, 2019).

2.3 Compostagem

O adubo produzido a partir de resíduos de origem vegetal ou animal é rico em nutrientes e matéria orgânica, o que estimula a vida na terra e contribui para o desenvolvimento e nutrição das plantas desse terreno, melhorando assim a fertilidade do solo. Estes resíduos não podem ser usados de forma direta, *in natura*, pois, as raízes das plantas absorvem o nitrogênio na forma amoniacal ou nítrica, o fósforo nas formas radicais aniônicos e o potássio na forma catiônica, por essa razão a matéria orgânica necessita passar pelo processo de decomposição microbiológica para que seus constituintes orgânicos sejam mineralizados, assim, as plantas conseguem acesso aos nutrientes, este processo é chamado de compostagem (Kiehl, 1985; Nunes, 2009).

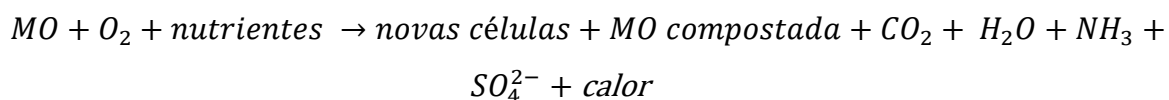
O produto desse processo é o “composto”, que pode ser considerado um adubo orgânico natural, tanto pode ser preparado na própria fazenda, como tanto industrialmente, fazendo uso de diversos resíduos como matéria prima para a fabricação de fertilizante orgânico, essa técnica da compostagem visa obter, em menor espaço de tempo, a estabilização ou humificação da matéria orgânica, que em ambiente natural ocorre em tempo indeterminado (Kiehl, 1985; Nunes, 2009).

A diferença entre matéria prima de origem orgânica e fertilizante orgânico, é que o fertilizante está acabado, curado ou humificado, pronto para o uso. Todo fertilizante orgânico é matéria orgânica, porém, nem toda matéria orgânica é um fertilizante orgânico (Kiehl, 1985). Segundo estudos de Galsim et al. (2021), realizados em uma ilha, solos tratados com composto apresentam maior teor de matéria orgânica do solo e adsorveram mais o nitrogênio sob massa de solo normalizada do que os solos tratados com fertilizantes

Visto que não há destinação nobre para *Eichhornia crassipes* após sua retirada do corpo hídrico, e considerando seu potencial como boa matéria prima para compostagem, é crescente o número de estudos relacionados com a compostagem da espécie, como o de Silva et al. (2011), que obtiveram êxito na produção de um composto orgânico utilizando resíduos orgânicos vegetais da macrófita aquática, realizando o processo de compostagem em torno de 65 dias (Silva et al., 2011). Mees et al. (2009) realizou a compostagem da espécie *Eichhornia crassipes* com quatro tratamentos distintos com duas repetições por tratamento, o tratamento em que havia apenas a espécie em questão na compostagem apresentou uma relação C/N de 8,6.

No estudo de Reyes-Pérez et al (2017) foi avaliado o uso de composto e vermicomposto da *Eichhornia crassipes* para auxílio no crescimento do repolho roxo. Os resultados demonstraram que as plantas fertilizadas com o composto ficaram mais desenvolvidas do que as fertilizadas com vermicomposto, segundo os autores este fato pode estar relacionado com a elevada quantidade de microelementos como Mn, Cu e B no jacinto (Reyes-Pérez et al., 2017). O processo de compostagem pode ser simplificado de acordo com a Equação 1, onde MO representa “Matéria Orgânica” (Tchobanoglous, 1993).

Equação 1- simplificação do processo de compostagem



A conversão biológica que ocorre sob condições anaeróbicas ocorre em três etapas: processo de transformação, realizado por enzimas, que transformam compostos de maior massa molar em compostos adequados para o uso como fonte de energia celular, ou seja, decompondo a matéria orgânica; na segunda fase ocorre a conversão bacteriana dos compostos resultantes da primeira fase, em compostos intermediários identificáveis de menor massa molecular, e; por fim, há a conversão bacteriana dos compostos intermediários em produtos finais mais simples, como o metano e dióxido de carbono. O NH₃ é produzido a partir da oxidação carbonada da matéria orgânica e pode ser oxidado ainda mais, formando NO₃, esse processo depende da quantidade de oxigênio presente na pilha, que deve ser controlado na fase de manutenção (Tchobanoglous, 1993).

2.4 Compostagem do Jacinto d'água

A compostagem do jacinto é uma prática estudada para ser utilizada como método de controle desta espécie invasora, como por exemplo, no estudo de Seoudi (2013), que teve como objetivo a recuperação de solos arenosos, para aumento da produtividade do feijão frade, através do composto orgânico formado pelo Jacinto. Há diversas combinações de elementos a se incorporar no composto de Jacinto, como o estudado por Fitrihidajati et al. (2021), que adicionou ao processo de compostagem do jacinto o resíduo de espiga de milho e a borra de soja. John (2016), estudou diferentes tratamentos para a compostagem do Jacinto, realizando experimentos com apenas jacinto, para servir de controle, e outros com jacinto acrescido de: microrganismos eficazes; melão, e; esterco.

Para realização da compostagem é necessário um pré-tratamento da matéria prima e a mistura da matéria orgânica com outros elementos. Para compostagem do tipo aeróbica, primeiramente é preciso realizar a remoção das raízes do Jacinto (Seoudi, 2013). A trituração é necessária para que se tenha maior superfície de adesão, é realizada até que se obtenha pedaços de 5 a 10 cm, após este processo o material é seco ao sol e vento de 7 a 15 dias (Fitrihidajati et al., 2021; John, 2016; Seoudi, 2013).

No estudo de Seoudi (2013), para se iniciar a compostagem foi necessário ajustar a relação C/N da mistura de jacinto e resíduo de banana, estas foram ajustadas para 25/30 com auxílio de esterco de vaca seco ao ar. Neste estudo foram utilizados materiais de enriquecimento, como o sulfato de amônio, superfosfato e carbonato de cálcio que foram misturados nas pilhas.. Com a matéria prima pronta, as pilhas são formadas através de camadas de material e umedecidas com água, a umidade é mantida a 60% e há o revolvimento destas para que ocorra aeração, auxiliando na atividade biológica, o revolvimento pode ser realizado a cada 15 dias (Fitrihidajati et al., 2021; John, 2016; Seoudi, 2013). A compostagem gerou altos níveis de P, N, K e NO₃ independente do tratamento realizados no estudo de John (2016).

Akber e Joardar (2020), estudaram a co-compostagem do Jacinto (JA) com esterco bovino (EB), em combinações de JA:EB 1:0, 0:1, 1:1, 1:2 e 2:1, foi analisado os nutrientes presentes em cada combinação e a sua efetividade no cultivo experimental de quiabo. O teor de carbono orgânico, P, K e Na, foi maior na combinação com apenas Jacinto. Em relação ao crescimento do quiabo, a combinação 1:2 foi a segunda melhor em rendimento, o que demonstra a possibilidade de se utilizar da compostagem como método de controle do Jacinto.

Cabe salientar a necessidade de investigação especificamente concebida para testar teorias sobre a eutrofização e avaliar a economia do controle ou erradicação do jacinto d'água (Lund, 1967). As decisões adotadas no processo de desenvolvimento de um produto, como na compostagem da espécie, tem efeito direto em todo o ciclo de vida deste (Bhander et al., 2003).

2.5 Análise do ciclo de vida

Integrar os aspectos econômicos e ambientais nos produtos vem sendo um desafio quando se tem a intenção de promover um desenvolvimento sustentável. Como instrumento proativo na prevenção dos impactos ambientais pode-se utilizar a Análise do Ciclo de Vida, auxiliando assim na tomada de decisões. Ao fim dos anos 60 e início dos 70 surgem os primeiros estudos que examinaram os aspectos

do ciclo de vida de produtos. Esta avaliação visa reduzir os impactos ambientais das atividades, para tal, os estudos eram concentrados em questões como eficiência energética, quantidade de matéria prima e, ocasionalmente, a destinação de resíduos (Bortolin, 2009; Jensen et al., 1997).

As empresas, nos dias de hoje, fazem uso da ACV em serviços de auditoria ambiental, pois os dados obtidos nesta metodologia são essenciais para relatar os riscos materiais criados por qualquer atividade humana. Assim, na realização destes serviços é possível avaliar e relatar o impacto ambiental líquido de seus produtos e processos, através de uma metodologia pré-estabelecida (Cays, 2017).

Atualmente, a ACV envolve, geralmente, a avaliação de aspectos ambientais do sistema de um produto, em todo seu ciclo de vida, por essa razão a ACV também é chamada de “análise do berço ao túmulo”. Esta metodologia é um conjunto de ferramentas e técnicas projetadas para ajudar na gestão ambiental e, no desenvolvimento sustentável a longo prazo, abrangendo todas as atividades que envolvem a fabricação, transporte, uso e descarte do produto (Jensen et al., 1997). A análise do ciclo de vida é útil em processos de compostagem, pois permite a comparação entre diferentes tecnologias e formulações. A ACV é realizada através da análise do impacto ambiental causado pelo consumo de materiais, energia e água e as emissões causadas pelo processo (Cadena et al., 2009).

O processo de ACV abrange três componentes: um inventário, com a identificação e quantificação do uso de energia e materiais, e as liberações ambientais que ocorrem em todos os estágios do ciclo de vida, como, por exemplo, água, ar e resíduos sólidos; a avaliação, do impacto dos efeitos potenciais e reais do uso dessa energia e materiais e as liberações destes no meio ambiente, e; uma avaliação das oportunidades encontradas para efetuar a implementação de melhorias ambientais, de acordo com os resultados do estudo do produto em questão.

O objetivo e âmbito do estudo definem as interrelações entre esses três componentes. O objetivo de uma ACV deve identificar o propósito do estudo e sua aplicação pretendida, já o âmbito define os limites, premissas e limitações do estudo. Esta interrelação é importante para que a análise seja compatível e suficiente para atender os objetivos do estudo e para que todos os limites, metodologias, categorias de dados e premissas estejam claros (Fava et al., 1993).

Os principais fatores de limitação em ACV correspondem a indisponibilidade de bases de dados, a incerteza do método em relação aos resultados para a tomada de decisão, a dificuldade na recolha de dados primários, a complexidade devido ao grande volume de dados, a falta de interesse por parte

da iniciativa privada e a omissão de dados. Estes últimos dois fatores se devem ao temor das empresas em despertarem a atenção de agências ambientais e não governamentais para os aspectos ambientais de seus processos internos (Seo & Kulay, 2006; Zocche, 2014).

Almejando a padronização metodológica da análise do ciclo de vida de diferentes instituições e países a *International Organization for Standardization (ISO)* criou normas para regulamentar e estruturar a ACV. Em Portugal, essas normas são representadas nas versões NP EN ISO 14040 e NP EN ISO 14044, que serão a base desta pesquisa.

2.5.1 Fases da ACV

Conforme a NP EN ISO 14040, a ACV possui quatro fases: Definição do objetivo e âmbito; Análise de inventário; Avaliação de impacto do ciclo de vida, e; Interpretação. A ACV estruturada dessa maneira pode ser utilizada para realizar estudos em diversas áreas, como no desenvolvimento e melhoramento de produtos, no planejamento estratégico, no desenvolvimento de políticas públicas e no marketing, por exemplo. Na Figura 1 tem-se a representação das relações entre os conceitos apresentados. Os seguintes subtópicos irão tratar de cada fase segundo as diretrizes da NP EN ISO 14040.

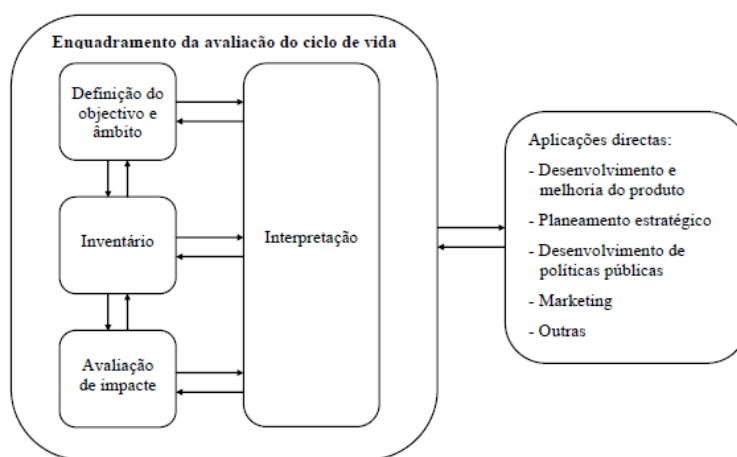


Figura 1- Fases de uma ACV e aplicações.

Fonte: NP EN ISO 14040:2008.

2.5.2 Definição de objetivo e âmbito

Deve ser definida de forma clara e concisa a pretensão da ACV, descrevendo o(s) objetivo(s) do estudo com um resumo dos processos relevantes e a metodologia aplicada. O âmbito deve apresentar: Função do sistema, onde é definido a função do objetivo do estudo; Unidade funcional, que é a medida que define e quantifica as funções identificadas do produto, para caracterizar seu desempenho, o objetivo deste é fornecer uma referência entre as entradas e as saídas do sistema, tal relação é necessária para garantir a comparabilidade dos resultados do estudo; Fluxo de referência, é a quantidade de produto necessária para cumprir a função expressa pela unidade funcional, e; Fronteiras do sistema de produto, define os processos que devem ser incluídos no sistema, a escolha dos elementos físicos a modelar depende da definição o objetivo e do âmbito do estudo, os critérios utilizados nessa etapa são importantes para o nível de confiança do resultados.

A fronteira do sistema define quais processos devem ser incluídos no estudo, segundo ICCA (2013) os limites do sistema podem ser definidos em quatro tipos:

- Do berço ao túmulo “*cradle-to-grave*”, da extração da matéria prima ao uso e descarte final do produto;
- Do berço ao portão “*cradle-to-gate*”, da extração da matéria prima ao portão da fábrica;
- Porta a porta “*gate-to-gate*”, de um ponto inicial a um segundo ponto final definido ao longo do ciclo de vida, e;
- Do portão ao túmulo “*gate-to-grave*”, do portão da fábrica ao uso e descarte final do produto.

2.5.3 Inventário do ciclo de vida (ICV)

Nesta etapa ocorre a recolha de dados e de cálculo para a quantificação de entradas e saídas relevantes. Esta etapa é interativa e no decorrer da recolha de dados pode ser necessária a adição de novos requisitos de dados ou limitações que irão exigir a alteração nos procedimentos desta etapa de tal maneira que os objetivos propostos no escopo ainda sejam atendidos.

Após a recolha dos dados é necessária a realização de cálculos a fim de os validar, relaciona-los com os processos unitários e com o fluxo de referência da unidade funcional. Após a recolha e cálculo dos dados pode ser necessário um reajustamento das fronteiras do sistema.

2.5.4 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)

Uma vez concluído o inventário, é necessário classificar os resultados ou os atribuir a diferentes categorias de impacto. Nesta fase é avaliada apenas a significância dos impactos ambientais potenciais as questões ambientais que foram especificadas no objetivo e escopo utilizando os resultados do estudo do ICV. Os resultados desta fase fornecem dados para a fase de interpretação do ciclo de vida. Existem três etapas para o preenchimento de uma ACV: identificação e classificação dos impactos; caracterização dos impactos, e; normalização e avaliação dos resultados (Clark, 2018). Destas etapas, a normalização não é obrigatória, segundo a metodologia estabelecida pela NP EN ISO 14040 (Figura 2).

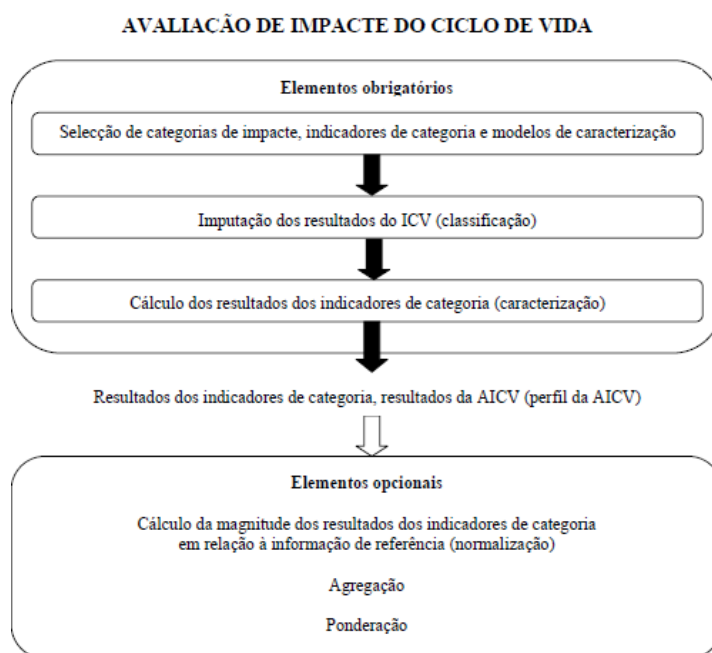


Figura 2 - Elementos da Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

Fonte: NP EN ISO 14040:2008.

Na primeira etapa, os impactos normalmente são identificados pelas empresas em cinco áreas-chaves: aumento da acidificação, que revela o potencial de criação de chuva ácida; o potencial de eutrofização, que prejudica os corpos d'água; a criação de ozônio troposférico, que origina o smog; diminuição do ozônio estratosférico, a qual favorece os buracos na camada de ozônio, e; produção de gases de efeito estufa, que está relacionado com o aumento da temperatura da terra (Cays, 2017).

Cada estudo deve analisar quais são as categorias de impacto que devem ser abordadas, segundo a NP EN ISO 14040 esta decisão deve ser tomada com base nos objetivos e no âmbito do estudo de ACV, e as categorias de impacto devem formar uma série que seja compreensiva e relacionada com os objetivo e âmbito do estudo.

A caracterização dos impactos identificados na primeira fase é realizada por métodos de avaliação dos impactos ambientais, os quais são realizados pelo software utilizado. Existem duas maneiras principais de derivar fatores de caracterização, no nível do ponto médio “*midpoint*” e no nível do ponto final “*endpoint*”. O “*midpoint*” é baseado em questões ambientais únicas, como mudanças climáticas ou acidificação, e são conhecidas como métodos orientados a problemas. O “*endpoint*” está voltado para a caracterização da intensidade ou implicações dos impactos de “*midpoint*”, esta caracterização de parâmetros requer a modelagem de todos os parâmetros ambientais. O “*endpoint*” é uma abordagem conhecida por ser orientada para o dano, dispostas em três principais níveis de acumulação, o impacto no bem-estar humano na biodiversidade, e na escassez de recursos (Abu et al., 2021).

Na Figura 3 temos uma visão geral das categorias de impacto associada aos “*midpoint*” e quais delas, isoladas ou em conjunto, geram danos nos chamados “*endpoints*”. Neste exemplo, todas as informações inventário (“*Resultados de LCI*”) vão influenciar nas seguintes categorias mencionadas no “*midpoint*”, como sejam: Toxicidade humana, acidentes, ruído, criação de oxigênio, depleção de ozônio, alterações climáticas, acidificação, nutrição, ecotoxicidade, uso de terra, dispersão de espécies e organismos e utilização de recursos naturais. Os “*endpoints*” estão divididos em danos na área da saúde humana, ambiente natural biótico e abiótico e não naturais biótico e abiótico. Observa-se que há categorias que são desprezíveis para efeitos de dano (Jolliet et al., 2003).

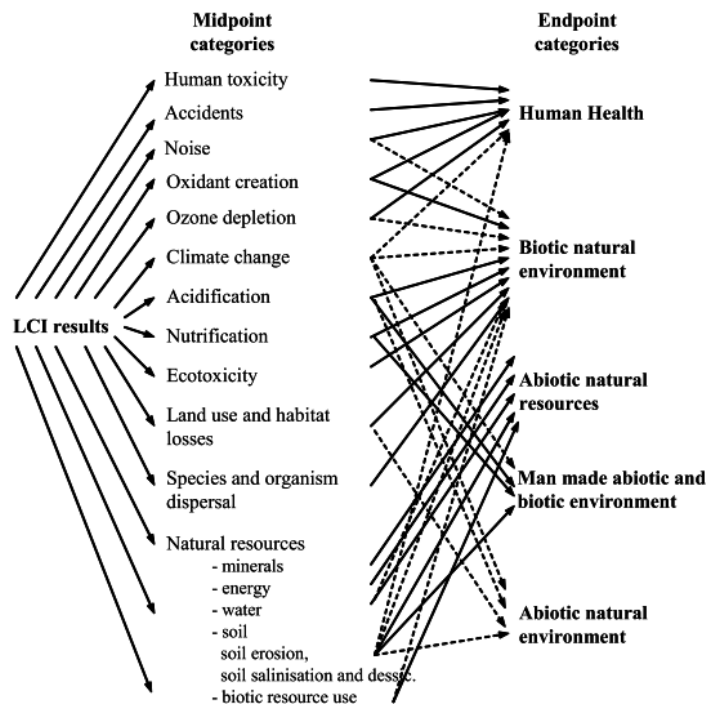


Figura 3 - Relação entre as categorias de impactos e Midpoint e Endpoint.

Fonte: Jolliet et. al., 2003.

2.5.5 Interpretação do ciclo de vida

Nesta fase, os resultados do inventário e da AICV são considerados em conjunto, e devem ser consistentes e de fácil compreensão, obter informações que vão de acordo com o objetivo e escopo definidos, afim de proporcionar conclusões, explicar possíveis limitações e fazer recomendações. Os resultados devem indicar quais são os impactos significativos ao meio ambiente e auxiliar na recomendação de métodos que reduzam o uso de materiais e cargas ambientais (Icca, 2013).

2.5.6 Análise de Cenários

A análise de cenários é uma ferramenta que permite obter uma visão de longo prazo, utilizada como suporte na tomada de decisões sobre os processos estudados (Blyth, 2005). Esta ferramenta auxilia na projeção de ambientes futuros, facilitando a busca das metas na organização (Moritz, 2004). Existem dois objetivos para se atingir que devem ser alcançados com a análises de cenários: quando se pretende estimular uma ideia a ser conduzida no futuro, e: quando se pretende avaliar as consequências de escolhas hipotéticas ou já realizadas (Coates, 2016). As construções de cenários

envolvem três estágios, sendo elas: a situação atual, uma imagem detalhada do estado atual do sistema em estudo, sua delimitação e determinação das variáveis; situação futura, definição dos possíveis cenários e suas probabilidades, impactes, etc., e; descrição da evolução dos acontecimentos da situação atual até a situação futura de cada cenário (Godet, 2006). Portanto, o cenário permite interpretar os resultados de um estudo sobre diferentes condições para a comparação de distintas alternativas (JRC, 2010).

2.5.7 Softwares de ACV

Alguns softwares utilizados na metodologia de ACV são: GaBi (Alemanha), openLCA (Alemanha), LCAPIX (Estados Unidos), Regis (Suíça), SimaPro (Holanda), Umberto (Alemanha), entre outros. Dos 35 softwares analisados por Zocche (2014), 29 foram desenvolvidos por países europeus, em destaque a Alemanha e Holanda. Esse fato confirma o interesse europeu para com o meio ambiente, avançando cada vez mais em estudos de ACV, fornecendo dados para que os mesmos se tornem representativos e de qualidade (Zocche, 2014).

O software GaBi é usado para modelar e analisar ambos os cenários de tratamento, oferecendo os resultados mais detalhados, com base em seu banco de dados conciso e extenso. Este software também engloba bancos de dados atualizados como eco-invent, CML 2001 e outros bancos de dados reconhecidos. O GaBi possui as melhores características no que diz respeito à função de definição do produto, e possui a função do usuário de alterar as bases de dados integradas ao software, gerando informações detalhadas e apresentando os resultados. O GaBi inclui também a mais recente técnica ReCiPe desenvolvida em 2008 pela RIVM e Radboud University, CML e PRE Consultants (Abu et al., 2021)

A constante atualização é uma característica importante que softwares apresentam, disponibilizando banco de dados que possuem diversas informações sobre o ciclo de vida de produtos proporcionando a redução considerável do tempo de coleta e tratamento das informações (Campolina, 2015)

3 MÉTODOS

3.1 Compostagem do Jacinto d'água

Para realização da compostagem o jacinto d'água, que é o principal elemento da mistura do composto, foi recolhido na Região Centro de Portugal, por parceiros – Instituto Politécnico de Coimbra e Empresa privada Colina Generosa. A Região Centro possui mais de 89 mil km², possuindo uma temperatura média anual de 14,6 C° com uma precipitação anual média de cerca de 650 mm (INE, 2012). Os locais de recolha são escolhidos a partir do uso da terra ao entorno, geralmente locais a jusante de intensa atividade agrícola, pois estes locais estão mais sujeitos a eutrofização. As coletas foram realizadas, especificamente, na Figueira da Foz e em Montemor-o-Velho (Figura 4).

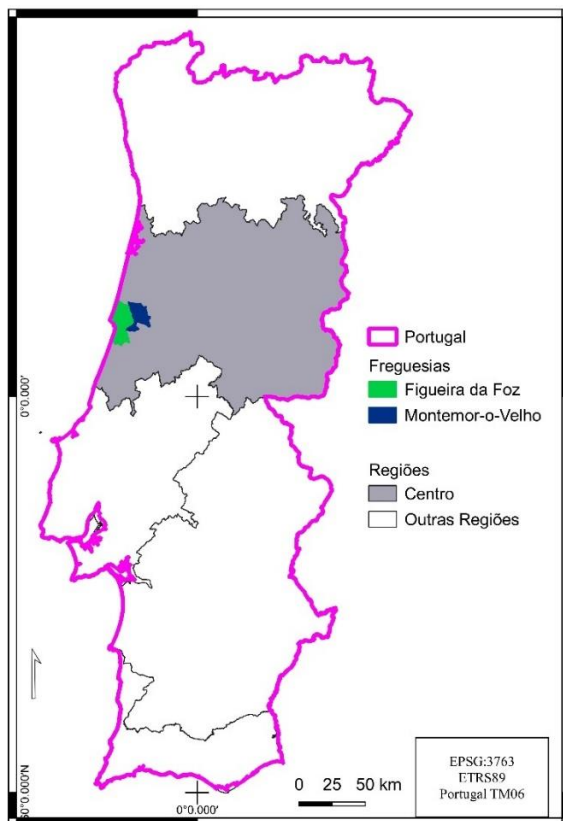


Figura 4 - Localização do local de recolha do Jacinto d'água

Fonte: Autoria própria, 2022.

O projeto BioComp 2.0 tem o objetivo de controlar a espécie invasora através da compostagem, para alcançar esse objetivo é necessária a realização da colheita da espécie, como supracitado; transporte para o local apropriado, e; compostagem, com a incorporação da biomassa úmida de jacinto d'água com outros elementos para o enriquecimento do composto, e; embalagem no mesmo local. Por se tratar de uma espécie invasora, as leis de segurança de manejo desta foram aplicadas, para que não ocorra disseminação de material biológico durante o processo.

Após a retirada do jacinto nos locais supracitados, este foi misturado a oito subprodutos (restos de batata, bagaço de azeitona, palha de arroz, estrume de bovino, cascas de batatas, biochar e estilha) em diferentes proporções em seis pilhas de compostagem distintas, alocadas no mesmo ambiente. Para este estudo, será analisado a “formulação 1”, que corresponde a mistura de jacinto (36%) com bagaço de azeitona (30%) e casca de batata (34%). Esta formulação foi escolhida por ser a com maior quantidade de dados disponíveis, até a presente data, para serem trabalhados.

3.2 ACV aplicada à compostagem do Jacinto d'água

A metodologia aplicada neste estudo de ACV da compostagem do jacinto d'água foi baseado na NP EN ISO 14040. Estudos conduzidos de acordo com esta norma geram credibilidade e confiança nos resultados (Icca, 2013).

3.2.1 Definição de objetivo e âmbito

O objetivo desta ACV é avaliar os possíveis impactos ambientais causados pela compostagem do Jacinto d'água, avaliando assim a efetividade desta atividade para o controle da espécie. A análise será realizada desde a retirada da espécie da natureza, até a finalização do composto, sendo assim uma ACV do berço ao portão “*cradle-to-gate*”. Nestes processos serão levados em consideração a colheita e transporte do jacinto d'água, o transporte dos subprodutos utilizados na mistura e a compostagem desta mistura. Na Figura 5 está a representação da fronteira do modelo desenvolvido.

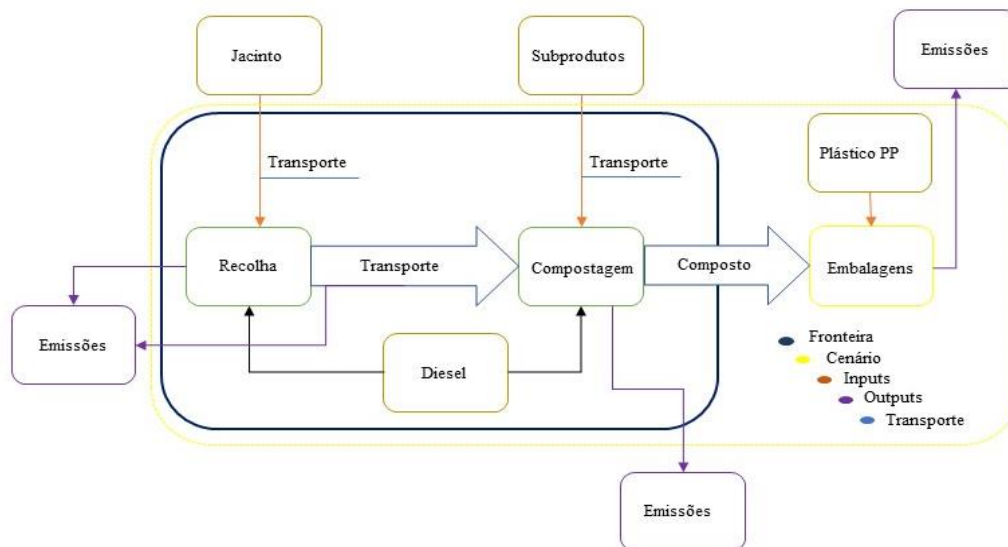


Figura 5 - Fronteiras do modelo de ACV da compostagem do Jacinto d'água.

Fonte: Autoria própria, 2022.

O limite do sistema determina até que ponto os dados especializados devem ser coletados antes que os dados genéricos possam ser usados (Abu et al., 2021). O processo genérico do sistema será o de combustão nos transportes. Serão desconsiderados o tratamento de águas residuais, pelo fato do local onde ocorre a compostagem ser impermeável, fazendo com que o lixiviado seja recirculado para as pilhas de compostagem. Os fluxos de entrada serão os materiais, energia e recursos. Os fluxos de saída correspondem ao produto, e possíveis emissões para o ar, solo e água.

A unidade funcional (UF) é um valor de referência para qual as entradas e saídas do sistema são calculadas. A finalidade de se utilizar uma UF global para cada produto é permitir que os resultados de uma avaliação possam ser comparados e analisados entre estudos de mesma área (Clark, 2018). Neste estudo, todos os sistemas estarão apresentados de maneira equivalente a 1 tonelada de composto, que vai de encontro com estudo realizado por Saer et. al. (2013).

3.2.2 Inventário do ciclo de vida

Os dados tratados neste trabalho serão nomeados por “primários” e “secundários”. Os primários representam os valores que recolhidos de modo direto, como seja através de questionários (em formato Excel) detalhados sobre cada processo pertencente à fronteira do sistema e dados fornecidos

pelos parceiros como a caracterização dos elementos utilizados na pilha. Os dados secundários são os valores encontrados na literatura e banco de dados disponíveis no software.

Nos dados primários houve a coleta de dados sobre a origem dos elementos de mistura da compostagem. O questionário foi dividido em folhas de acordo com os processos:

- “Origem do Jacinto”: conterà os dados sobre a recolha, transporte e pré-tratamento da espécie;
- “Formulação”: conterà os dados dos elementos misturados ao jacinto d’água, cada folha representara um tipo de formulação realizado, com proporções e/ou elementos diferentes;

Os dados obtidos e trabalhados no software GaBi estão descritos nos Quadros 1 e 2, onde estão dispostos os valores do inventário no input e output do sistema, respectivamente.

Quadro 1- Inventário Inputs

| Detalhes | Parâmetros | kg/t de composto | Fonte dos Dados |
|----------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| Jacinto | | | |
| Transporte | Diesel | 4,7 | Primário |
| Colheita | Diesel | 66,6 | Secundário |
| | Jacinto úmido | 894 | Primário |
| Bagaço de Azeitona | | | |
| Transporte | Diesel | 5,2 | Primários |
| Massa | Bagaço de Azeitona | 752 | |
| Casca de Batata | | | |
| Transporte | Diesel | 8,8 | Primários |
| Massa | Casca de Batata | 854 | |
| Construção da pilha | | | |
| | Diesel | 1,14 | Secundário |
| Revolvimento da pilha | Diesel | 0,33 | |

A compostagem produz gases como metano - CH₄ -, óxido nitroso - N₂O - e amônia - NH₃ - (Saer et al., 2013), que não serão levados em consideração devido a dificuldades técnicas de medição, fazendo uso de dados secundários. Dados sobre o transporte foram detalhados em pormenores no inventário, por exemplo, com questões que abrangem o tipo de combustível, tempo de utilização, trajeto percorrido, peso transportado e potência do transporte. Todos os elementos abordados neste questionário estão dispostos no Apêndice I.

Quadro 2 - Inventário Outputs

| Parâmetros | kg/t de composto | Fonte dos Dados | Parâmetros | kg/t de composto | Fonte dos Dados |
|---------------------------|----------------------|-----------------|-----------------------|----------------------|-----------------|
| Emissões para o ar | | | Composto | | |
| CO₂ | 8,56 | Secundários | C | 328 | Primário |
| CO | 2,3 10 ⁻³ | | N | 13 | |
| PM 10 | 6,6 10 ⁻³ | | P | 1 | |
| NMVOC | 1,0 10 ⁻³ | | K | 18 | |
| SO₂ | 2,3 10 ⁻³ | | Ca | 5 | |
| | | | Mg | 2 | |
| | | | Cd | 2,1 10 ⁻⁴ | |
| | | | Cr | 1 10 ⁻² | |
| | | | Pb | 1 10 ⁻³ | |
| | | | Ni | 1 10 ⁻² | |
| | | | CH₄ | 4 | |
| | | | N₂O | 0,24 | |
| | | | NH₃ | 1 10 ⁻³ | Secundário |
| | | | CO₂ | 200 | |

Os dados referentes à compostagem no *Output* foram obtidos através da caracterização laboratorial de cada subproduto e do jacinto, já os dados secundários do *Output* foram obtidos através do banco de dados do software GaBi, e revisão de literatura.

3.2.3 Avaliação do impacto do ciclo de vida

Nesta fase os dados dos fluxos elementares do ICV são convertidos em pontuações de impacto ambiental, que são interpretadas no contexto da ACV. Como citado no capítulo anterior, há duas formas de avaliar as categorias de impacto, sendo pelo ponto médio um método clássico que agrupam os resultados do ICV de maneira a limitar incertezas, e há o método orientado ao dano que busca aumentar a relevância, geralmente modelando com altas incertezas, chamado de ponto final (Jolliet et al., 2003). Neste trabalho optou-se por limitar a análise ao ponto médio.

Após revisão de literatura foi possível observar que as metodologias mais utilizadas na caracterização das categorias de impactos foram TRACI, CML, Eco-Indicator 99 e ReCipe (Abu et al., 2021; Blengini, 2008; Cadena et al., 2009; Diaz et al., 2018; Saer et al., 2013). O método TRACI foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA, especificadamente para as condições dos EUA, caracterizando as categorias no nível de “*midpoint*” (Bare et. al, 2003). Eco-Indicator 99 e ReCipe fazem uso de “*endpoints*”, neste trabalho será realizada uma avaliação pelos “*midpoints*”, portando será realizada a caracterização através do método CML 2001, em sua atualização mais recente, CML 2016.

O método CML foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Ambientais, Universidade de Leiden, Holanda, onde um grupo de autores publicou um guia operacional para as normas ISO nomeado “*Handbook on life cycle assessment - Operational guide to the ISO Standards*”. A proposta geral foi de fornecer orientações com guias operacionais para conduzir um estudo de ACV passo a passo (Guinée, 2002).

O método conta com fatores de caracterização específicos previamente quantificados para cada problema ambiental ou categoria de impacto. Sendo assim, os dados coletados através do ICV são convertidas em potencial de impacto ambiental através do produto entre sua respectiva quantidade e seu fator de caracterização na categoria de impacto conexa (Guinée, 2002). No Quadro 1 estão representas as características do método escolhido, elencando as categorias de impacto e a abrangência de aplicação.

Quadro 3 - Método CML e suas características

| Nível de avaliação de impacto | Categorias de impactos | Abrangência de Aplicação |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| <i>Midpoint</i> | Depleção de recursos abióticos | Global |
| | Depleção de recursos bióticos | Global |
| | Uso da terra | Global |
| | Mudança climática | Global |
| | Depleção do ozônio estratosférico | Global |
| | Toxicidade humana | Global |
| | Ecotoxicidade aquática (água doce) | Global |
| | Ecotoxicidade aquática (marinha) | Global |
| | Ecotoxicidade terrestre | Global |
| | Formação de foto-oxidantes | Europa |
| | Acidificação | Europa |
| | Eutrofização | Global |

Fonte: (Mendes et al., 2015).

3.2.4 Categorias de impacto

As categorias de impacto foram selecionadas de acordo com trabalhos semelhantes, sendo elas: potencial de aquecimento global, depleção do ozônio estratosférico, formação de foto-oxidantes, acidificação, eutrofização (Blengini, 2008; Cadena et al., 2009; Saer et al., 2013; Yay, 2015). A seguir, será realizada uma breve definição de cada categoria de impacto escolhida para este estudo segundo o método CML 2001 (Guinée, 2002; Icca, 2013):

- Potencial de aquecimento global

Esta categoria é definida como correspondendo ao impacto das emissões humanas no forçamento radiativo, acarretando no aumento da temperatura na superfície terrestre, popularmente conhecido como “efeito estufa”. Mensurado por um período de tempo fixo, normalmente de 100 anos, em termos de emissões totais de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, por exemplo. Isso, por sua vez, pode ter impactos adversos na saúde do ecossistema, na saúde humana e no bem-estar material. Todos os gases de efeito estufa são convertidos em CO₂ equivalente, o potencial de aquecimento global pode ser expresso conforme o descrito na Equação 2

Equação 2 - Potencial de aquecimento global

$$\text{Potencial de Aquecimento Global} = \sum \text{PAG}_{a,i} * m_i$$

Onde:

$\text{PAG}_{a,i}$ representa o potencial de aquecimento global da substância i integrada ao longo de um ano a em kg CO₂-equivalente*kg⁻¹ de emissão, e m é a massa da substância i emitida, em kg.

- Depleção do ozônio estratosférico

Refere-se ao afinamento da camada de ozônio estratosférico como resultado de emissões antrópicas. Fazendo com que uma fração maior da radiação solar UV-B atinja a superfície da Terra, com impactos potencialmente prejudiciais à saúde humana, saúde animal, ecossistemas terrestres e aquáticos, ciclos bioquímicos e materiais. Portanto, esta categoria de impacto afeta todas as quatro áreas de proteção: saúde humana, meio ambiente natural, meio ambiente artificial e recursos naturais.

- Formação de foto-oxidantes

Corresponde a formação de compostos químicos reativos, como o ozônio, pela ação da luz solar em certos poluentes primários do ar, conhecido por *smog*. Podem ser formados na troposfera sob a influência da luz ultravioleta, através da oxidação fotoquímica de Compostos Orgânicos Voláteis e monóxido de carbono na presença de óxidos de nitrogênio, o ozônio é considerado o mais importante destes compostos oxidantes, juntamente com o peroxiacetilnitrato. Podem ser prejudiciais à saúde humana e aos ecossistemas e também podem danificar as culturas. Há três diferentes métodos de cálculos para esta categoria, o baseado em Potenciais de Criação de Ozono Fotoquímico, em Fatores de Destino e em Reatividade Incremental.

- *Acidificação*

Esta categoria reflete o efeito relativo das emissões totais de gases ácidos para o ar ao longo do ciclo de vida estudado do produto. Os principais poluentes acidificantes são SO₂, NO_x e NH_x, estes possuem uma grande variedade de impactos no solo, águas subterrâneas, águas superficiais, organismos biológicos, ecossistemas e materiais (edifícios). A Equação 3 expressa o cálculo realizado para definir o potencial de acidificação em termos de dióxido de enxofre equivalente (kg SO₂-equivalentes).

Equação 3 - Acidificação

$$Acidificação = \sum PA_i * m_i$$

Onde:

m é a massa (kg) da substância *i* liberada, *PA* é o Potencial de Acidificação da substância e *Acidificação* é o resultado do indicador, que é expresso em kg SO₂-equivalentes.

- *Eutrofização*

Reflete o crescimento excessivo de algas causado por emissões de nutrientes limitantes direta ou indiretamente para corpos d'água. Abrange todos os impactos potenciais de níveis ambientais excessivamente altos de macronutrientes, sendo os mais importantes o nitrogênio (N) e o fósforo (P). Em ecossistemas aquáticos, o aumento da produção de biomassa pode levar a uma diminuição dos níveis de oxigênio, devido à o consumo adicional de oxigênio na decomposição da biomassa (medido como DBO, demanda biológica de oxigênio). A Equação 4 expressa o cálculo realizado para definir o potencial de eutrofização em termos de kg de fosfato equivalente (kg PO₄⁻³-equivalente).

Equação 4 - Eutrofização

$$Eutrofização = \sum PE_i * m_i$$

Onde:

m representa a massa da substância *i* emitida para a atmosfera, em kg, *PE* é o Potencial de Eutrofização para a substância *i* emitida em kg PO₄-equivalente*kg⁻¹.

3.2.5 Cenários Propostos

O processo de compostagem estudado neste trabalho está em processo de maturação até a presente data, e o objetivo da equipe parceira é realizar a venda deste composto assim que concluído o processo de compostagem. Fazendo uso da ferramenta de análise de cenários na ACV, foram analisados dois cenários distintos para possíveis embalagens para este composto, as “*big bags*” com capacidade de 1000 L, destinada a grandes produtores rurais, e embalagens comerciais de 50 L. Estes cenários vão de acordo com o segundo objetivo proposto por Coates (2016), “utilizar o cenário para avaliar as consequências de escolhas hipotéticas”.

Em ambos os cenários foi incluído no plano a fabricação do plástico, um processo existente na base de dados do software. O plástico fabricado neste é então encaminhado a uma máquina empacotadora, esta possuiu alteração na quantidade de composto por unidade de embalagem, sendo uma embalagem de 1,8 kg para embalar 1000L de composto e 0,022 kg para embalar 50 L (Ekvall et al., 2020).

3.2.6 Software

O software utilizado neste trabalho será o GaBi Professional. Este auxilia as empresas na tomada de decisões sobre a fabricação e o ciclo de vida de qualquer produto, permitindo que estas forneçam produtos mais sustentáveis e econômicos. Para tal, o GaBi fornece um banco de dados de conteúdo constantemente atualizado que possui os detalhes de custos, energia e o impacto ambiental da aquisição e refinamento de cada elemento utilizado no sistema (Thinkstep, 2019).

Esta ferramenta de ACV é baseada em um conceito modular, ou seja, é disposta em planos, processos, fluxos e possui suas funcionalidades estabelecidas em unidades modulares. Assim, a interpretação dos impactos ambientais causados pode ser realizada em várias fases do ciclo de vida, como na recolha do jacinto, ou no seu transporte, por exemplo. O software disponibiliza uma base de dados forte e extensa, que podem ser armazenadas e modificadas pelo utilizador, na versão profissional esta base de dados é atualizada anualmente, aumentando a veracidade dos dados e resultados obtidos (Abu et al., 2021; Ferreira, 2004; Kupfer et al., 2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Inventário de dados

A aplicação da ACV ao processo de compostagem é baseada na composição do jacinto e dos subprodutos utilizados neste estudo e quando a informação for incompleta, nos dados de inventário da literatura. Os dados secundários são os referentes a construção da pilha, revolvimento, emissões para o ar, dióxido de carbono e amônia, os quais foram obtidos na literatura. Os valores de N, P, e K foram calculados através de ponderação, utilizando a porcentagem de massa dos subprodutos no composto final, usando os dados de caracterização química fornecida pelos parceiros, seguindo o método aplicado por Yay (2015).

O CO₂ é emitido para o ar quando os microrganismos decompõem a matéria orgânica, neste estudo foi seguida a recomendação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, que considera as emissões de dióxido de carbono oriundos da degradação de matéria orgânica como biogênico, sendo emissões que não estão incluídas nos cálculos da categoria de impacto referente ao potencial de aquecimento global (Pipatti et al., 2006; Saer et al., 2013). Para a amônia foi assumida a perda estimada de 0,03-2,0 g/Mg de composto do nitrogênio perdido durante a compostagem (Andersen et al., 2010). Para realização dos cálculos quando necessário foi assumido que a pilha de compostagem será reduzida em 60%, seguindo as expectativas dos parceiros responsáveis e os trabalhos de Yay (2015) e Al-Rumaihi (2020).

A definição do mix de energia é muito importante principalmente no cálculo de gases de efeito de estufa, NO_x, SO_x e outras emissões, que são classificadas em suas respectivas categorias de impacto de ACV (Schumacher et al., 1996). Os transportes utilizados nos modelos são do tipo “Euro 5”, o qual possui tecnologia do motor classificada a partir das normas europeias de emissões para motores movidos a diesel pesado (Chazirakis et al., 2022).

4.2 Modelo Gabi

Seguindo os dados do inventário, supracitado, foi elaborado o modelo no GaBi. Os elementos contidos dentro da fronteira pré-estabelecida foram divididos em planos, sendo eles nomeados por “Recolha”, “Compostagem - F1”, e “Plano Principal”. Nestes planos estão contidos os processos, que transformam ou apenas transportam uma quantidade de massa/energia, afim de representar os acontecimentos reais, estes são representados por caixas cinzas. Na Figura 6, está representado o esquema dos processos no plano de “Recolha”, com a quantidade de massa que cada processo movimenta. O processo denominado de “Harvesting Water Hyacinth” representa a colheitadeira que realiza a coleta de jacinto do corpo d’água, após colhido o jacinto é transportado até o local da compostagem.

Na Figura 7, estão representados os processos pertencentes ao plano “Compostagem – F1”, onde foi levado em consideração o transporte dos subprodutos e o diesel utilizado para construção e revolvimento da pilha. Os processos “Origem bagaço de azeitona” e “ Origem Casca de batata”, não possuem informações sobre a origem desses produtos, pois estes dados estão fora da fronteira pré-estabelecida, estes processos auxiliam o processo de transporte, pois este deve ser sempre um processo intermediário entre outros, ou seja, não modifica a carga apenas a transporta.

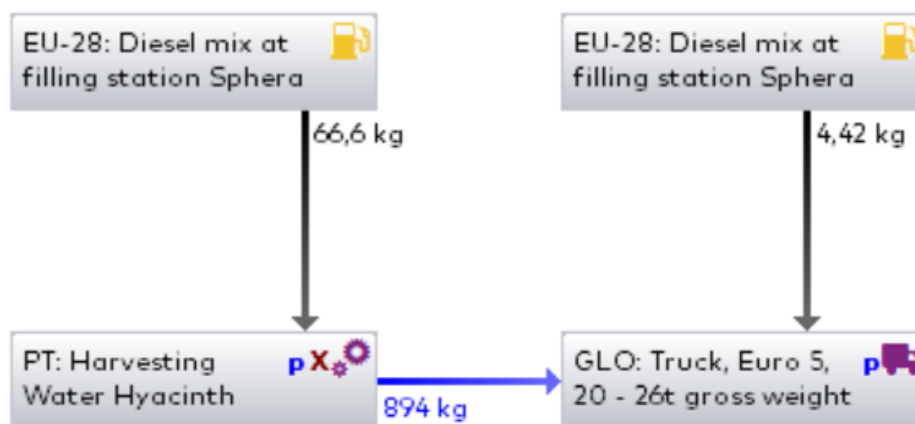


Figura 6 - Modelagem da etapa de Recolha do jacinto no software GaBi.

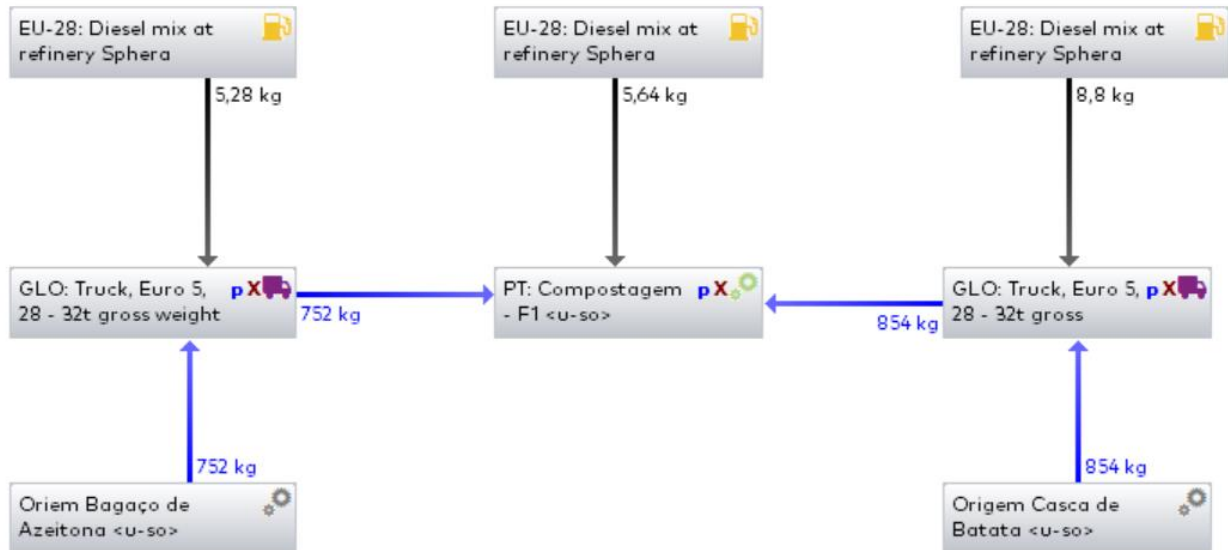


Figura 7- Modelagem da etapa da Compostagem da Formulação 1 do jacinto no software GaBi.

4.3 Categorias de impacto

Os dois planos foram agrupados no Plano Principal, onde foi possível obter os valores das categorias de impacto mencionadas para todos os processos que envolvem a compostagem do jacinto. No Quadro 4, está representado os valores absolutos encontrados em cada categoria de impacto calculado pelo método CML 2001. Como citado anteriormente, cada categoria de impacto possui uma unidade de medida (especificada no Quadro 4), portanto os gráficos obtidos com os valores resultantes estão em proporção de contribuição para o impacto (%). Dessa maneira, é possível obter uma melhor visualização da influência de cada processo em cada categoria de impacto.

Quadro 4 – Categorias de impacto ambiental do “Plano Principal”.

| Categorias de Impacto | | A | E | PAG | PAGE | DOE | FF |
|-------------------------|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|----------------|
| Unidade | | kg SO ₂ eq. | kg PO ₄ eq. | kg CO ₂ eq. | kg CO ₂ eq. | kg R11 ¹ eq. | kg etileno eq. |
| Recolha | | | | | | | |
| Colheita | Diesel | 0,137 | 0,027 | 21 | 34,7 | 2,8 10 ⁻¹¹ | 0,02 |
| | Maquinário | 0,1 | 0,013 | 156 | 156 | - | 0,009 |
| Total | | 0,237 | 0,040 | 177 | 190,7 | 2,8 10 ⁻¹¹ | 0,029 |
| Transporte Jacinto | Diesel | 0,009 | 0,002 | 1,4 | 2,31 | 1,86 10 ⁻¹² | 0,001 |
| | Transporte | 0,03 | 0,008 | 14,2 | 15,5 | - | -0,015 |
| Total | | 0,039 | 0,01 | 15,6 | 15,81 | 1,86 10 ⁻¹² | -0,014 |
| Compostagem - F1 | | | | | | | |
| Bagaço de Azeitona | Diesel | 0,00873 | 0,00161 | 1,63 | 2,55 | 1,33 10 ⁻¹² | 0,00173 |
| | Transporte | 0,0391 | 0,0106 | 17,1 | 16,3 | - | -0,0199 |
| Total | | 0,04783 | 0,01221 | 18,73 | 18,85 | 1,33 10 ⁻¹² | -0,01817 |
| Casca de Batata | Diesel | 0,0145 | 0,00268 | 2,71 | 4,24 | 2,22 10 ⁻¹² | 0,00288 |
| | Transporte | - | 0,0391 | 17,1 | 16,3 | - | -0,0199 |
| Total | | 0,0145 | 0,04178 | 19,81 | 20,54 | 2,22 10 ⁻¹² | -0,01702 |
| Compostagem | Diesel | 0,00932 | 0,00172 | 1,74 | 2,71 | 1,42 10 ⁻¹² | 0,00184 |
| | Compostagem | 0,122 | 8,55 | 312 | 112 | - | 0,0307 |
| Total | | 0,13132 | 8,55172 | 313,74 | 114,72 | 1,42 10 ⁻¹² | 0,03254 |

E = Eutrofização; A = Acidificação; FF = Formação de foto-oxidantes; DOE = Depleção de Ozônio Estratosférico; PAGE = Potencial de Aquecimento Global excluindo carbono biogênico; PAG = Potencial de Aquecimento Global.

¹ Triclorofluor-metano

Na Figura 8 está representado graficamente a contribuição de cada processo no plano de recolha, a colheita e o transporte. É possível observar a influência do diesel que se destaca percentualmente em três das seis categorias de impacto analisadas, com destaque ao utilizado no maquinário de recolha, pois este utilizou grandes quantidades do combustível (66,6 kg). Sob a depleção de ozônio estratosférico o diesel tem influência, absoluta, devido ao triclorofluor-metano liberado na extração do petróleo (Sugawara, 2012).

Na categoria de formação de foto-oxidantes temos valores negativos para o processo de transporte do jacinto, isso se deve ao fato do processo de combustão do diesel no motor, que através da alta temperatura estima-se remover cerca de 99% dos Compostos Orgânicos Voláteis (VOC's) que são os elementos principais para os cálculos desta categoria (Koslowski et al., 2014). A máquina utilizada na colheita também utiliza a combustão do diesel como energia, porém não utiliza do mesmo motor, nem é utilizada pelo mesmo tempo que o transporte nem possui a mesma eficiência, por essa razão possui valores distintos de contribuição em cada impacto.



Figura 8 - Gráfico de contribuição dos processos, com diesel dissociado, do plano “Recolha” para cada impacto ambiental

No processo de combustão do combustível são gerados óxidos de nitrogênio (NOx) e possivelmente novos poluentes perigosos, por essa razão o percentual de impactos causados pelo

maquinário nas categorias de acidificação, potencial de aquecimento global e, potencial de aquecimento global excluindo o carbono biogênico são expressivas, pois nos cálculos destas esses gases são levados em consideração (Koslowski et al., 2014). Na Figura 9 está representado novamente o plano de Recolha, porém com o diesel associado aos seus processos. Assim, é possível analisar que o processo de recolha do jacinto é o processo com maior contribuição aos impactos ambientais neste plano.

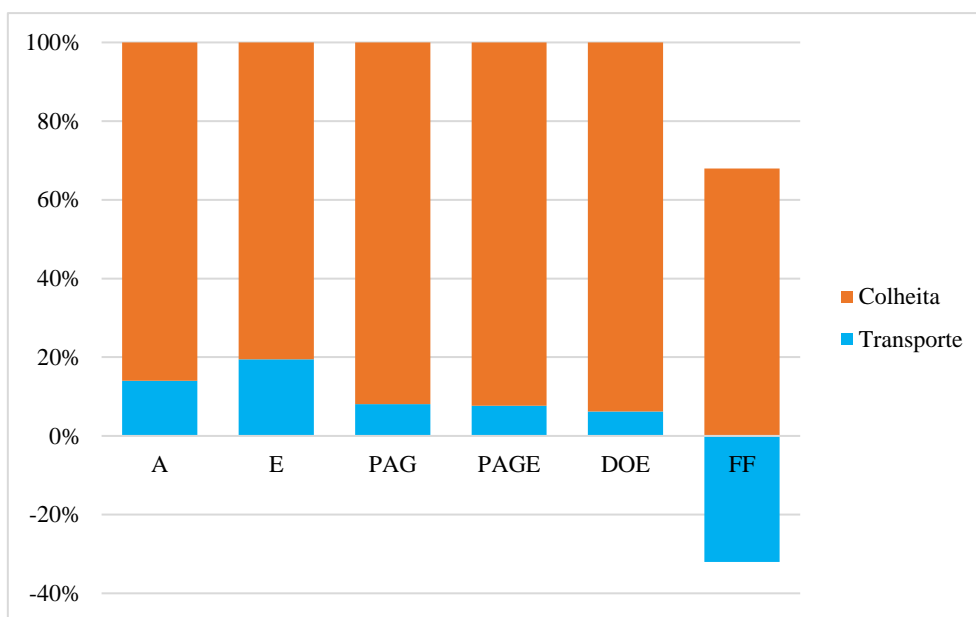


Figura 9 - Gráfico de contribuição dos processos, com diesel associado, do plano “Recolha” para cada impacto ambiental

Na Figura 10 temos a representação gráfica do plano “Compostagem – F1”, demonstrando a contribuição de cada processo, com diesel dissociado, em cada impacto analisado. Em uma revisão realizada por Bong et al. (2017), foi notável o fato dos gases liberados durante o processo de compostagem contribuírem mais significativamente para o potencial de aquecimento global do que as outras emissões. Neste estudo o processo de compostagem tem uma contribuição de cerca de 80% nesta categoria.

Na categoria de eutrofização, a compostagem contribui quase que totalmente devido ao fato dos elementos bases de cálculos - mencionados anteriormente (N e P) - fazerem parte do processo, por envolver materiais biológicos ricos nesses elementos. Os processos de transporte e de produção de

diesel possuem o mesmo comportamento encontrado na análise do plano de Recolha. O Diesel é o único responsável por causar impactos na categoria de depleção do ozônio estratosférico, sendo o transporte da casca de batata o com maior contribuição. A compostagem em larga escala possui como principais processos impactantes os envolvidos na recolha e transporte do resíduos nela utilizados (Martínez-Blanco et al., 2010).

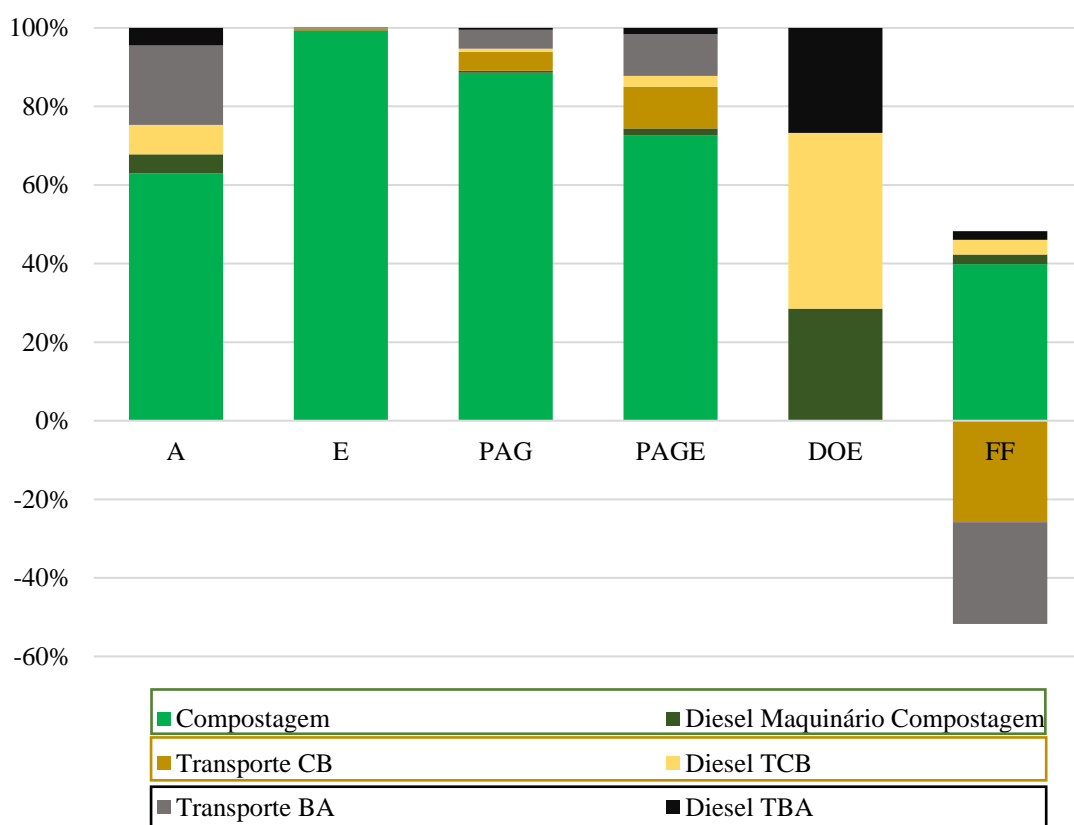


Figura 10 - Gráfico de contribuição dos processos, com diesel dissociado, do plano “Compostagem – F1” para cada impacto ambiental.

Na Figura 11, temos a representação gráfica da contribuição dos processos do plano “Compostagem – F1” para as categorias de impacto. Os subprodutos possuem valores negativos em formação de foto-oxidantes devido à combustão dos motores do transporte, como apresentado na Figura 10 onde temos os processos dissociados do diesel.

As emissões de CO₂ provenientes de processos biológicos, como a compostagem, não são consideradas como contribuintes para o aquecimento global, uma vez que esse carbono tem origem

biogênica, ou seja, esse carbono foi previamente fixado biologicamente (Al-Rumaihi et al., 2020; Saer et al., 2013). Devido a este fato, observa-se que a contribuição para o potencial de aquecimento global da compostagem passa a ser de cerca de 60% quando se exclui o carbono biogênico dos cálculos. Portanto, não é apenas o CO₂ que contribui para esta categoria, outros gases de efeito estufa, como o CH₄ e o NO₂ que também são gerados, são considerados para o potencial de aquecimento global (Abu et al., 2021).

A compostagem, quando é realizada sob condição aeróbia, emite uma quantidade insignificante de CH₄ sendo, desta perspectiva, considerada vantajosa em comparação a deposição em aterro (Abu et al., 2021; Bong et al., 2017). Em uma análise de ciclo de vida realizada na Itália foi demonstrado que a gestão de resíduos orgânicos baseado na compostagem comparada ao aterro, traz benefícios ambientais significativos, sendo que o aumento no consumo de energia não ultrapassa os 20% do consumido em aterro (Blengini, 2008).

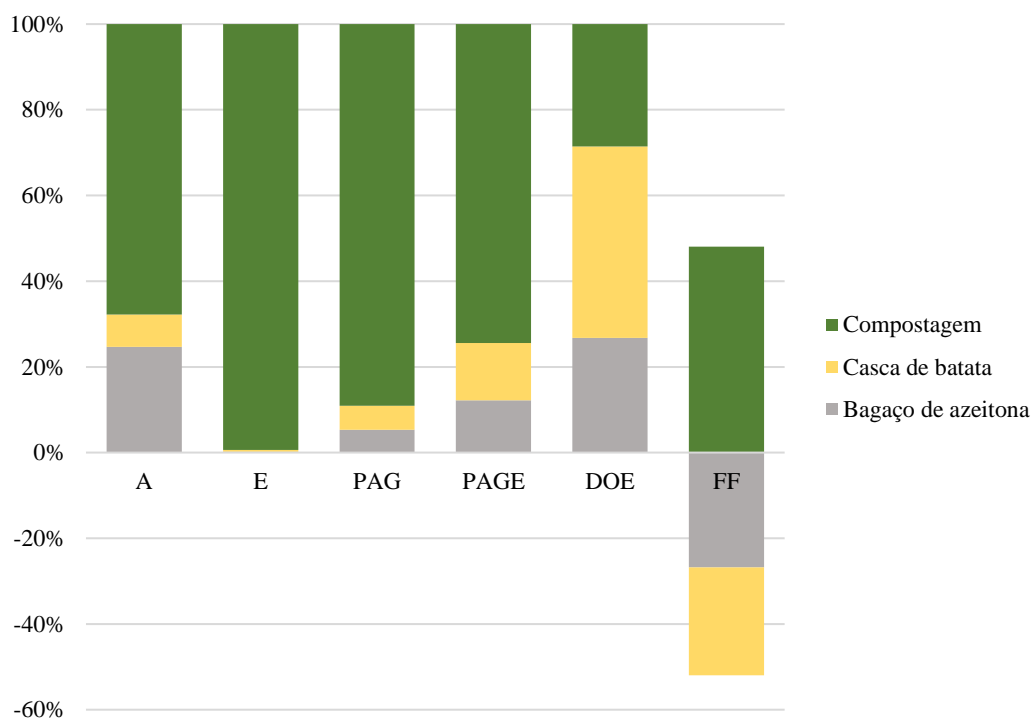


Figura 11 - Gráfico de contribuição dos processos, com diesel associado, do plano “Compostagem – F1” para cada impacto ambiental.

Na Figura 12, temos a representação gráfica da contribuição dos planos estudados nas categorias de impacto. Devido à formação de foto-oxidantes o plano da Compostagem – F1 possui valores negativos devido ao facto de o transporte possuir valores menores em relação a Recolha. Em depleção do ozônio estratosférico a recolha possui mais de 80% de contribuição devido ao alto consumo de diesel utilizado no maquinário de colheita. Compostagem – F1 tem praticamente a totalidade do impacto na categoria de eutrofização devido ao processo de compostagem supracitado.

Como elencado no Capítulo II o jacinto causa eutrofização nos corpos d'água que invade, assim, esperasse que sua retirada torne este mais saudável. Para confirmar essa expectativa é necessário realizar uma extensão da fronteira deste estudo, para se incluir o processo de troca de elementos que ocorre na água com a presença do jacinto. Ao se ampliar o estudo à condição de proliferação do jacinto, poderão ser identificados benefícios associados à remoção do jacinto da água, pela alteração do perfil de nutrientes no corpo d'água.

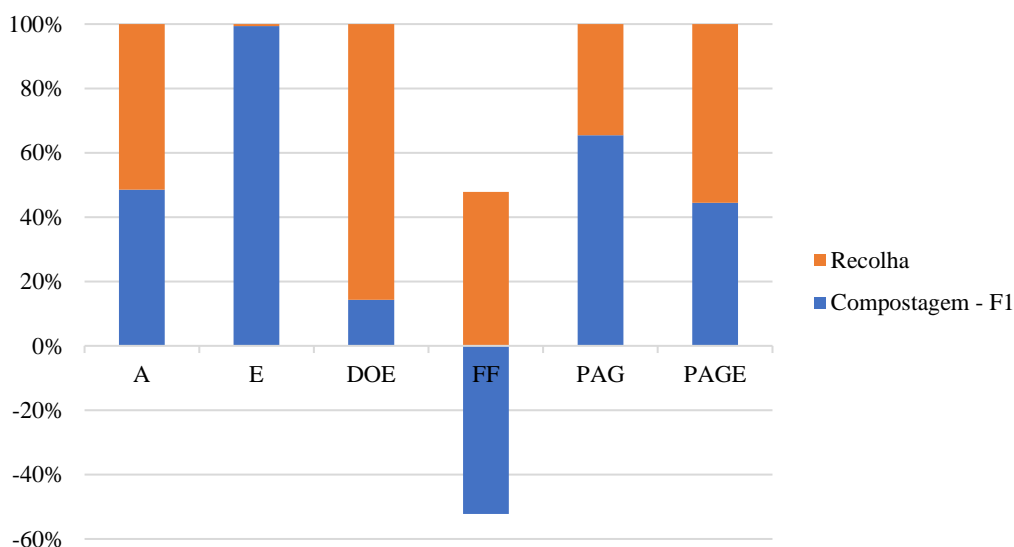


Figura 12 - Gráfico de contribuição dos planos "Recolha" e "Compostagem - F1" nas categorias de impacto.

A compostagem pode conduzir à produção de gases de efeito estufa, compostos orgânicos voláteis e a emissão para o solo de metais pesados em forma de macroelementos. Na pesquisa realizada por Saer et al. (2013), o processamento do composto foi a etapa de maior impacto ambiental, com as emissões de decomposição contribuindo mais para o potencial de aquecimento global, acidificação e eutrofização nos cenários de emissões médias e máximas.

Estratégias que podem ser adotadas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, são a utilização de agente de volume, sistema de aeração, aditivos químicos e utilização do material de cobertura. A avaliação do potencial de aquecimento global para a compostagem dependente do limite do sistema e a unidade funcional definida (Bong et al., 2017; Lim et al., 2016).

O estudo de Diaz et al. (2018) obteve resultados que mostram que o desvio de 100% dos resíduos domésticos orgânicos para a compostagem diminui o potencial de aquecimento global e eutrofização. Estes benefícios devem-se principalmente a substituição de fertilizantes minerais por composto. A avaliação do ciclo de vida realizada por Keng et al. (2020), mostrou que utilizando a compostagem para substituir a utilização de fertilizantes químicos por composto orgânico, pode-se reduzir grandemente os impactos ambientais, especialmente no aquecimento global, eutrofização e esgotamento de combustíveis fósseis. A fim de promover a aplicação generalizada de compostagem para resíduos orgânicos, parcerias são essenciais para ligar governos, organizações e famílias a trabalhar em prol de uma economia circular (Keng et al., 2020).

4.4 Cenários

4.4.1 Comparação de cenários

As categorias de impacto relacionados à aplicação de ambos estão descritas no Quadro 5. O tipo de material dos sacos foi determinado como plástico PP – Polipropileno, fabricado em processo existente na base de dados do software. A diferença entre os dois cenários é referente ao peso desta embalagem, a de 50L possuem massa de 0.022Kg enquanto a big bag (1000L) pesa 1.8Kg. Estes dados foram calculados de acordo com referências encontradas em trabalhos e sites de compra específicos.

Na Figura 13 está representado a proporção de influência nas categorias de impacto causadas no cenário referente ao big bag. Os resultados indicam que a embalagem de 50L representa 24% dos impactos causados pela embalagem de 1000L, esses valores vão de encontro com a proporção do peso da embalagem, que é o fator que diferencia ambas. O tempo de envase não se mostrou muito relevante, pois para embalar vinte sacos de 50L são necessários cerca de 30 min, já para embalar uma big bag de 100 L, são necessários aproximadamente 10 min.

Quadro 5 - Resultados das categorias de impacto nos cenários propostos

| Categorias de Impacto | E | A | FF | DOE | PAGE | PAG |
|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Unidade | kg PO ₄ eq. | kg SO ₂ eq. | kg etileno eq. | kg R11 eq. | kg CO ₂ eq. | kg CO ₂ eq. |
| Embalagem | | | | | | |
| 50 L | 4.98 10 ⁻⁵ | 2.75 10 ⁻⁴ | 2.1 10 ⁻⁵ | 1.86 10 ⁻¹² | 0.215 | 0.214 |
| 1000 L | 2.04 10 ⁻⁴ | 1.13 10 ⁻³ | 8.59 10 ⁻⁵ | 7.6 10 ⁻¹² | 0.88 | 0.887 |

Os sacos duráveis de PP reutilizáveis precisam de ser reutilizados de 10 a 20 antes de poderem competir com base nas alterações climáticas com sacos de utilização única. Isto deve-se ao seu maior peso e ao consumo de material relacionado (Ekvall et al., 2020). Portanto, apesar da big bag possuir maiores impactos, sua vida útil é maior em relação as embalagens de 50L, que são de uso único, pelo que existe a possibilidade de o impacte da big bag poder ser a melhor opção, dependendo do modelo de uso.

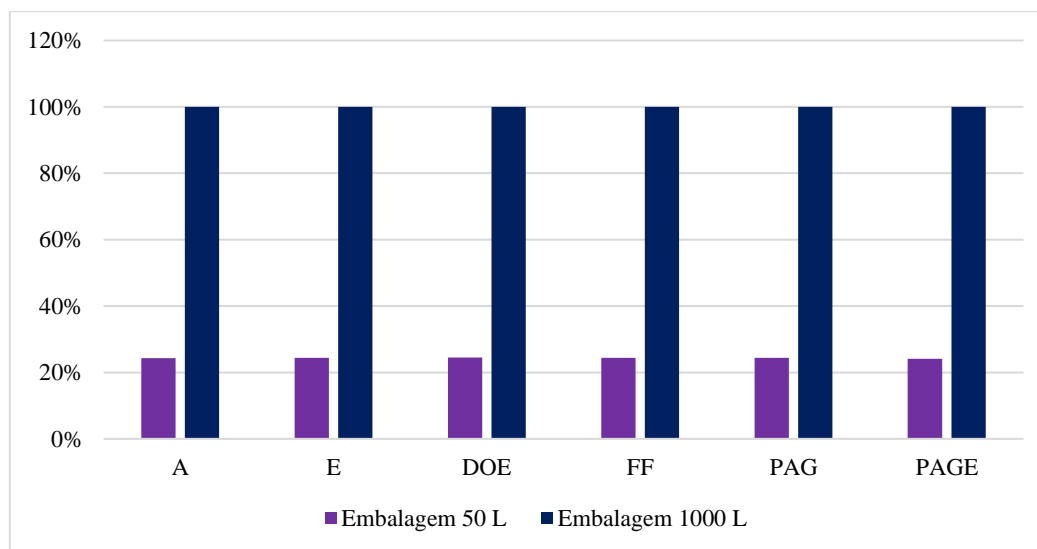


Figura 13 - Gráfico proporcional de cada tipo de embalagem na contribuição às categorias de impacto estudadas

Em uma ACV do processo de fabricação do PP foi demonstrado que esse processo libera inúmeros poluentes no meio ambiente, como CO₂ bruto, além de possuir valores extremamente altos em outras categorias como acidificação e formação de foto-oxidantes (Alsabri et al., 2021).

Em estudo realizado sobre o fim de vida de embalagens de PEBD – Polietileno de baixa densidade, chegaram à conclusão que o aterro mostrou-se ser a melhor opção dentro dos tratamentos em fim de vida, com as menores emissões de poluentes. Contudo, a concepção do aterro teve de ser melhorada para fazer face aos efeitos duradouros do plástico no aterro. Neste estudo, as alterações climáticas foram o impacto mais significativo (Izhar & May, 2020).

Independente da embalagem escolhida, o incremento de seus impactos no processo de compostagem (Plano principal) não é significativo. Portanto, está é uma análise que deve se estender com dados reais quando for realizado estudos sobre melhores maneiras de distribuição deste composto, onde será levada em consideração o valor financeiro de retorno que cada possibilidade de embalagem trará.

5 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que a compostagem realizada e estudada nesta dissertação possui como principais percursos de impactos ao meio ambiente: em primeiro lugar, o processo de colheita do jacinto, em segundo o processo de compostagem, seguida em terceiro, pelos transportes dos elementos utilizados. O plano de recolha, possui três categorias de impacto - acidificação, potencial de aquecimento global excluindo o carbono biogênico e formação de foto-oxidantes - em que a influência deste plano nos impactos totais superam os 50% sendo que em todas as categorias, o processo de colheita possui uma influência maior que 85%, isso ocorre devido ao elevado consumo de diesel, que possui diversos aspectos ambientais em sua fabricação e seu consumo produz emissões atmosféricas. Porém, cabe salientar que este processo já ocorre, mesmo sem ter por objetivo a compostagem do jacinto, pois é a medida utilizada no momento para o combate a esta invasora.

O plano “Compostagem F1” possui maior influência nas outras três categorias de impacto – eutrofização, potencial de aquecimento global e depleção do ozônio estratosférico – onde o processo da compostagem corresponde a 100% da eutrofização e 58% do potencial de aquecimento global. A grande influência em potencial de aquecimento global é decorrente da liberação de gases durante a maturação do composto, estes podem ser controlados com estudos sobre várias formulações e condições da pilha, que já estão sendo estudados no Projeto BioComp. 2.0. A depleção do ozônio estratosférico, neste plano, é influenciada em 71% pelo transporte dos subprodutos, os transportes utilizados em todo o estudo influenciam em 47% esta categoria, devido a emissões geradas no consumo e combustão do diesel. As emissões geradas pelos transportes são um problema encontrado em diversos estudos, pois os produtos utilizados deslocam-se demasiado, portanto, devem ser estudadas maneiras de otimização, como por exemplo, o aumento da eficiência dos maquinários.

As emissões geradas pela compostagem podem ser controladas com aeração e mistura de subprodutos ricos em nitrogênio ou carbono, por exemplo, devendo ser estudada qual a melhor solução para a formulação em questão, que possa otimizar a qualidade do composto, com implicações para o perfil de produção de gases do processo. A busca por soluções e melhorias deve ser constante a fim de se obter um produto que cumpra seu propósito de ser uma solução sustentável a um problema ambiental.

Quando o carbono biogênico é excluído dos cálculos do potencial de aquecimento global, a influência do processo de compostagem passa a ser de 32%, decaindo 26 pontos percentuais, com a

aplicação do composto, este carbono será contido no solo. Portanto, estudos que apontam que a utilização de compostos orgânicos traz benefícios ambientais por diminuir a utilização de fertilizantes químicos devem ser levados em consideração.

Pelo processo de compostagem proposto, os nutrientes contidos no jacinto seriam utilizados e voltariam aos seus ciclos naturais sem a disseminação da espécie, visto que o material resultante da compostagem é estável, sem patógenos e sementes viáveis. Sendo assim, um estudo da aplicação do composto originado das atividades aqui estudadas será de grande relevância. Mesmo com a utilização de dados secundários, é possível demonstrar que a compostagem do jacinto é um fim digno para um problema ambiental presente, visto que sua deposição em aterro não é, segundo a literatura existente, mais vantajosa que a solução estudada.

Os resultados obtidos na análise de cenários referente a embalagem, demonstrou que as embalagens de uso único consideradas, de 50 L, têm menor impacto ambiental do que as reutilizáveis de 1000 L. Esta situação está relacionada com a maior densidade das embalagens maiores, desenhada para reutilização. De acordo com a literatura existente, quando se amplia a análise do ciclo de vida da embalagem plástica, é menos impactante fazer uso de embalagem retornáveis, pois o descarte do plástico é um problema ambiental a ser combatido. Assim, se faz necessário o estudo de viabilidade de embalagens quando for conhecido o público alvo, pois será possível realizar um estudo sobre o fim de vida desta embalagem.

Com o avanço do Projeto BioComp. 2.0 será possível ampliar os estudos, aumentando a fronteira de análise da ACV, como por exemplo, estudando a relação de absorção de nutrientes do corpo d'água pelo jacinto, e a aplicação do composto finalizado em determinado solo. Para tal, será necessário a caracterização química do corpo d'água, do jacinto e do solo. Este estudo poderia alterar os resultados da contribuição da compostagem para a categoria de eutrofização, por exemplo, pois incluiria não apenas a volta dos elementos N e P para o ambiente, mas também a sua retirada do corpo d'água.

O estudo da aplicação do composto no solo, levaria em consideração o destino dos macronutrientes formado pelo processo de compostagem. Este futuro estudo poderá utilizar cenários, afim de comparar os impactos gerados com o uso do composto orgânico e com os fertilizantes químicos. Pois, estes fertilizantes são ricos em fosfatos e nitrogenados, que lixiviam pelo solo e sobrecarregam de nutrientes os corpos d'água que alcançam, favorecendo a eutrofização, parte dos elementos nitrogenados além da lixiviação são evaporados, liberando gases na atmosfera como os óxidos nitroso que influenciam a categoria de impacto de depleção do ozônio estratosférico. Assim,

Capítulo V: Conclusão

resultados seriam alterados, como a influência do processo de compostagem na categoria de eutrofização, por exemplo.

REFERENCIAS

- Abu, R., Aziz, M. A. A., Hassan, C. H. C., Noor, Z. Z., & Jalil, R. A. (2021). Life cycle assessment analyzing with gabi software for food waste management using windrow and hybrid composting technologies. *Jurnal Teknologi*, 83(6), 95–108. <https://doi.org/10.11113/JURNALTEKNOLOGI.V83.17199>
- Akber, S., & Joardar, J. C. (2020). Co-Composting of water hyacinth with cattle manure and its effects on growth and yield of Okra. *International Journal of Modern Science and Technology*, 5(2), 59–64.
- Al-Rumaihi, A., McKay, G., Mackey, H. R., & Al-Ansari, T. (2020). Environmental impact assessment of food waste management using two composting techniques. *Sustainability (Switzerland)*, 12(4), 1595. <https://doi.org/10.3390/su12041595>
- Alsabri, A., Tahir, F., & Al-Ghamdi, S. G. (2021). Life-Cycle Assessment of Polypropylene Production in the Gulf Cooperation Council (GCC) Region. *Polymers*, 13(21), 3793. <https://doi.org/10.3390/polym13213793>
- Andersen, J. K., Boldrin, A., Christensen, T. H., & Scheutz, C. (2010). Mass balances and life-cycle inventory for a garden waste windrow composting plant (Aarhus, Denmark). *Waste Management and Research*, 28(11), 1010–1020. <https://doi.org/10.1177/0734242X10360216>
- Bhander, G. S., Hauschild, M., & McAloone, T. (2003). Implementing life cycle assessment in product development. *Environmental Progress*, 22(4), 255–267. <https://doi.org/10.1002/EP.670220414>
- Blengini, G. A. (2008). Using LCA to evaluate impacts and resources conservation potential of composting: A case study of the Asti District in Italy. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(12), 1373–1381. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.08.002>
- Blyth, M. J. (2005). Learning from the future through scenario planning. *Scenario, March 2005*(March), 1–12. <http://www.fourscenes.com.au/LearningFromScenarios0305.pdf>
- Bong, C. P. C., Lim, L. Y., Ho, W. S., Lim, J. S., Klemeš, J. J., Towprayoon, S., Ho, C. S., & Lee, C. T. (2017). A review on the global warming potential of cleaner composting and mitigation strategies. *Journal of Cleaner Production*, 146, 149–157. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.07.066>
- Bortolin, A. R. (2009). *Avaliação do Ciclo de Vida: principais métodos e estudo comparativo entre o cesto de plástico e de inox de uma lavadora de roupa*. Universidade de São Paulo.
- Cadena, E., Colón, J., Artola, A., Sánchez, A., & Font, X. (2009). Environmental impact of two aerobic composting technologies using life cycle assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(5), 401–410. <https://doi.org/10.1007/S11367-009-0107-3/TABLES/2>
- Campolina, J. M. (2015). Uma Revisão De Literatura Sobre Softwares Utilizados Em Estudos De Avaliação Do Ciclo De Vida. *Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)*, 19(2), 735–750. <https://doi.org/10.5902/2236117015494>
- Catarino, L., Moreira, I., Ferreira, M., & Duarte, M. (2001). *Plantas Aquáticas Infestantes de Valas*

e Canais (ISA Press).

- Cays, J. (2017). Life-Cycle Assessment: Reducing environmental impact risk with workflow Data you can trust. *Architectural Design*, 87(3), 96–103. <https://doi.org/10.1002/ad.2179>
- Chazirakis, P., Giannis, A., & Gidarakos, E. (2022). Modeling the Life Cycle Inventory of a Centralized Composting Facility in Greece. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(4), 2047. <https://doi.org/10.3390/app12042047>
- Clark, C. E. (2018). *Life-cycle assessment Corrie* (pp. 566–575).
- Coates, J. F. (2016). Scenario planning. *Technological Forecasting and Social Change*, 113, 99–102. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2016.10.043>
- Diaz, L. P., Gunkel-Grillon, P., & Roth, E. (2018). Life cycle analysis for the treatment of organic matter from municipal solid waste: A case study of France. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 215, 69–80. <https://doi.org/10.2495/EID180071>
- Eichhornia crassipes*. (n.d.-a). Flora-On. Retrieved October 26, 2021, from <https://flora-on.pt/?q=Eichhornia>
- Eichhornia crassipes*. (n.d.-b). Bugwoodwiki. Retrieved October 26, 2021, from https://wiki.bugwood.org/Eichhornia_crassipes#cite_note-gopa-1
- Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. (n.d.). Flora Do Brasil. Retrieved October 26, 2021, from <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/BemVindoConsultaPublicaConsultar.do?invalidatePageControlCounter=10&idsFilhosAlgas=%5B2%5D&idsFilhosFungos=%5B1%2C10%2C11%5D&lingua=&grupo=5&familia=197&genero=&especie=&autor=&nomeVernaculo>
- Eichhornia crassipes em Global Plants no JSTOR*. (n.d.). Retrieved October 26, 2021, from <https://plants.jstor.org/compilation/Eichhornia.crassipes>
- Ekvall, T., Liptow, C., & Miliutenko, S. (2020). Single-use plastic bags and their alternatives: Recommendations from Life Cycle Assessments. *UNEP (United Nations Environment Programme)*, 1–76.
- Feio, M. J., & Ferreira, V. (2019). *Rios de Portugal: comunidades, processos e alterações* (M. J. Feio & V. Ferreira (Eds.)). Impresa da Universidade de Coimbra. <https://doi.org/https://doi.org/10.14195/978-989-26-1624-7>
- Ferreira, J. V. R. (2004). *Análise De Ciclo De Vida De Produtos* (p. 80). <https://doi.org/10.1121/1.3523339>
- Fitrihidajati, H., Rachmadiarti, F., Winarsih, Purnomo, T., & Kuntjoro, S. (2021). Quality of organic fertilizer made from water hyacinth with the addition of corncobs waste and soybean dregs. *Journal of Physics: Conference Series*, 1899(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1899/1/012024>
- Godet, M. (2006). A prospectiva estratégica para as empresas e os territórios. ... , *Instituto Europeo de Prospectiva Estratégica*, 180. <http://www.lapropective.fr/cercle>
- Guinée, J. B. (Ed.). (2002). *Handbook on life cycle assessment - Operational guide to the ISO Standards* (Vol. 7). Kluwer Academic.

- Icca. (2013). *How to Know If and When it's Time to Commission a Life Cycle Assessment*. 20. <http://lcacenter.org/lcaxiii/final?presentations/782.pdf>
- INE. (2012). *Anuário Estatístico da Região Centro*.
- Izhar, T. N. T., & May, Y. V. (2020). Life cycle analysis of plastic packaging. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 616(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/616/1/012036>
- Jensen, A. A., Hoffman, L., Møller, B. T., Schmid, A., Christiansen, K., Elkington, J., & van Dijk, F. (1997). *Life Cycle Assessment (LCV): A guide to approaches, experiences and information sources*. <https://www.eea.europa.eu/publications/GH-07-97-595-EN-C/Issue-report-No-6.pdf/view>
- John, M. (2016). Production of organic compost from water hyacinth (*Eichhornia crassipes* [Mart.] Solms) in the Lake Victoria Basin: A Lake Victoria research initiative (VicRes). *Research & Reviews: Journal of Agriculture and Allied Sciences*, 5(January), 50–57. <https://www.researchgate.net/publication/312158982>
- Jolliet, O., Brent, A., Goedkoop, M., Itsubo, N., Mueller-Wenk, R., Pena, C., Schenk, R., Stewart, M., & Weidema, B. (2003). Life Cycle Impact Assessment Programme of the Life Cycle Initiative - Final Draft Report of the LCIA Definition Study. *Life Cycle Initiative, July 2016*, 40.
- JRC. (2010). ILCD Handbook - General guide on LCA - Detailed guidance. In *Constraints* (First). Publications Office of the European Union; <https://doi.org/10.2788/38479>
- Keng, Z. X., Chong, S., Ng, C. G., Ridzuan, N. I., Hanson, S., Pan, G. T., Lau, P. L., Supramaniam, C. V., Singh, A., Chin, C. F., & Lam, H. L. (2020). Community-scale composting for food waste: A life-cycle assessment-supported case study. *Journal of Cleaner Production*, 261, 121220. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121220>
- Kiehl, E. J. (1985). Fertilizantes Orgânicos. In *Fertilizantes Orgânicos* (pp. 3–4).
- Koslowski, L. A. D., Schroeder, T., Jantsch, L. R., Medeiros, S. H. W., & Vaz, C. (2014). Estudo dos gases da combustão provenientes do diesel S 10 e S 50. *4º Congresso Internacional de Tecnologias Para o Meio Ambiente*.
- Kupfer, T., Baitz, M., Colodel, C. M., Kokborg, M., & Scholl, S. (2021). *GaBi Databases & Modelling Principles* (Issue February).
- Lim, S. L., Lee, L. H., & Wu, T. Y. (2016). Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: Recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 111, 262–278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.083>
- Lund, J. W. (1967). Eutrophication. *Nature*, 214(5088), 557–558. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/214557a0>
- Martínez-Blanco, J., Colón, J., Gabarrell, X., Font, X., Sánchez, A., Artola, A., & Rieradevall, J. (2010). The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale. *Waste Management*, 30(6), 983–994. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.02.023>
- Mazumder, P., Khwairakpam, M., & Kalamdhad, A. S. (2020). Bio-inherent attributes of water hyacinth procured from contaminated water body—effect of its compost on seed germination and

- radicle growth. *Journal of Environmental Management*, 257, 109990. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2019.109990>
- Mendes, N. C., Bueno, C., & Ometto, A. R. (2015). Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. *Production*, 26(1), 160–175. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.153213>
- Monteiro, I., Monteiro, A., Serrasqueiro, P. M., Santos, A. C., & Moreira, J. F. (2005). Combate ao Jacinto-aquático nas valas da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira. *Centro de Competências Para o Regadio Nacional - COTR*, 1–10. <http://www.cotr.pt/docs/ICNRD/Papers/69.pdf>
- Moritz, G. de O. (2004). Planejando por Cenários Prospectivos : a construção de um referencial metodológico baseado em casos. *Dissertação de Doutorado - Título Em Engenharia Da Produção, Universidade Federal de Santa Catarina*.
- Nunes, M. U. C. (2009). Compostagem de Resíduos para Produção de Adubo Orgânico na Pequena Propriedade. *Circular Técnica - EMBRAPA*, 59, 10.
- Osoro, N., Muoma, J., Amoding, A., Muthini, M., Muoma, J. O., Mukaminega, D., Ombori, O., & Maingi, J. M. (2014). Effects of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes* [mart.] solms) Compost on Growth and Yield Parameters of Maize (*Zea mays*) . *Original Research Article British Journal of Applied Science & Technology*, 4(4), 617–633. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2014/5776>
- Parma, S. (1979). *The History of the Eutrophication Concept*.
- Pintor-Ibarra, L. F., Jesús Rivera-Prado, J., Ngangyo-Heya, M., & Rutiaga-Quiñones, J. G. (2018). Evaluation of the chemical components of *Eichhornia crassipes* as an alternative raw material for pulp and paper. *BioResources*, 13(2), 2800–2813. <https://doi.org/10.15376/biores.13.2.2800-2813>
- Pipatti, R., Alves, J. W. S., Gao, Q., Cabrera, C. L., Mareckova, K., Oonk, H., Scheehle, E., Sharma, C., Smith, A., Svardal, P., & Yamada, M. (2006). Biological Treatment of Solid Waste. In *Wast* (5th ed., pp. 4.1-4.8). IPCC. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>
- S. Lower, M. Browner, S. Boudjelas, M. D. P. (2000). *100 of the World's Worst Invasive Alien Species A selection from the Global Invasive Species Database*. The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN). www.issg.org/booklet.pdf
- Saer, A., Lansing, S., Davitt, N. H., & Graves, R. E. (2013). Life cycle assessment of a food waste composting system: Environmental impact hotspots. *Journal of Cleaner Production*, 52, 234–244. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.022>
- Santos, M. C. R., Pacheco, D. M. D. M., Santana, F. J. P., & Rodrigues, A. M. F. (2004). A Eutrofização das Lagoas das Sete-Cidades e Furnas (S. Miguel-Açores) Análise evolutiva entre 1988 e 2002. *7º Congresso de Água*.
- Sawyer, C. N. (1966). Basic Concepts of Eutrophication. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 38(5), 737–744. <http://www.jstor.org/stable/25035549>
- Schumacher, L. G., Borgelt, S. C., Fosseen, D., Goetz, W., & Hires, W. G. (1996). Heavy-duty engine exhaust emission tests using methyl ester soybean oil/diesel fuel blends. *Bioresource Technology*, 57(1), 31–36. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(96\)00043-0](https://doi.org/10.1016/0960-8524(96)00043-0)

- Seo, E. S. M., & Kulay, L. A. (2006). Avaliação do ciclo de vida: ferramenta gerencial para tomada de decisão. *Revista de Gestão Integrada Em Saúde Do Trabalho e Meio Ambiente*, 1(1), 1–23. http://www.interfacehs.sp.senac.br/br/artigos.asp?ed=1&cod_artigo=8
- Seoudi, O. A. (2013). Utilization of water hyacinth and banana wastes compost in reclamation of sandy soils for increasing growth , yield of cowpea. *Journal of Advanced Laboratory Research in Biology*, 4(1), 36–45. www.sospublication.co.in
- Sugawara, E. T. (2012). *Comparação dos desempenhos ambientais do b5 etílico de soja e do óleo diesel, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)*. 238.
- Tchobanoglous, G. (1993). Biological and chemical conversion technologies. In *Integrated solid waste management : engineering principles and management issues*. Ghent University Library. <https://lib.ugent.be/en/catalog/rug01:000312687>
- Yay, A. S. E. (2015). Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: A case study of Sakarya. *Journal of Cleaner Production*, 94, 284–293. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.089>
- Zocche, L. (2014). *Identificação das limitações da acv sob a ótica de pesquisas acadêmicas*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

APÊNDICE

Apêndice I – Ficha de recolha de dados para o inventário da compostagem do Jacinto d'água

| Formulação da Compostagem | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---|-----------------------------------|--------------------------|-------------|-------------|--|
| Instituição responsável: | | | | | | | | | | |
| Nome(s) do responsável(is) pelo preenchimento: | | | | | | | | | | |
| Data: | | | | | | | | | | |
| | | Pilha nº 1 | | | | | | | | |
| Compostagem | | Respostas | | | | | | | | |
| Subprodutos utilizados: | Nome | Origem | Tipo de veículo | Tipo de combustível | Distância percorrida (km) | Massa (Kg) | Volume (m ³) | Relação C/N | Custo S/Iva | Houve pré-tratamento? Se sim, qual (ais)? |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| Água (m ³): | | | | | | | | | | |
| Massa de Jacinto d'água (Kg): | | | | | | | | | | |
| *Origem do Jacinto d'água: | | | | | | | | | | *Número que representa a folha em que os dados sobre o jacinto d'água utilizado nesta formulação está. |
| Solo de inoculação: | Tipo | Volume (m ³) | | Massa (Kg) | | | | | | |
| Revolvimento | | Manual () | | | Mecânico () | | | | | |
| Máquina utilizada: | Tipo de máquina/veículo | Tipo de combustível | | Tempo de Utilização (h) | Potência ou Consumo Médio (litros/h ou Watts) | Custo Sem Iva (Por Watt ou litro) | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| MISTURA | | | | | | | | | | |
| Inicial: | Massa (Kg) | | Volume (m ³) | | Relação C/N | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| Final: | Massa (Kg) | | Volume (m ³) | | Relação C/N | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Recolha e Pré-tratamento do Jacinto d'água

| | | | | | | |
|---|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--|--|--|
| Instituição responsável: | | | | | | |
| Nome(s) do responsável(is) pelo preenchimento/ recolha de dados: | | | | | | |
| Data: | | | | | | |
| Local de Recolha | | | | | | |
| Tipo de corpo d'água: | | | | | | |
| Endereço: | | | | | | |
| Localidade: | | | | | | |
| Coordenadas GPS: | | | | | | |
| Concelho: | | | | | | |
| Distrito: | | | | | | |
| Responsáveis: | | | | | | |
| Data: | | | | | | |
| Espécie Extraída | | | | | | |
| Nome científico: | | | | | | |
| Nome popular: | | | | | | |
| Recolha | | | | | | |
| Respostas | | | | | | |
| Produto recolhido: | | | | | | |
| Jacinto d'água | | | | | | |
| Máquina utilizada: | Tipo de máquina/veículo | Tipo de combustível/energia | Tempo de Utilização (h) | Distância percorrida (Km) | Potencia ou Consumo Médio (litros/h ou Watts) | Custo Sem Iva (Por Watt ou litro) |
| Capacidade da Máquina: | Volume (m³) | | Massa (Kg) | | | |
| Carga Utilizada: | Volume (m³) | | Massa (Kg) | | | |
| Transporte | | | | | | |
| Respostas | | | | | | |
| Produto coletado: | | | | | | |
| Jacinto d'água | | | | | | |
| Máquina utilizada: | Tipo de máquina/veículo | Tipo de combustível | Tempo de Deslocação (h) | Distância percorrida (Km) | Consumo (litros/100km) | Custo Sem Iva (Por Watt ou litro) |
| Capacidade da Máquina: | Volume (m³) | | Massa (Kg) | | | |
| Carga Utilizada: | Volume (m³) | | Massa (Kg) | | | |
| Local de Processamento e Compostagem | | | | | | |
| Desidratação | | | | | | |
| Respostas | | | | | | |
| Produto desidratado: | | | | | | |
| Jacinto d'água | | | | | | |
| Máquina utilizada: | Tipo de máquina/veículo | Tipo de combustível | Tempo de Utilização (h) | Potencia ou Consumo Médio (Watts ou litros) | Custo Sem Iva (Por Watt ou litro) | |
| Inicial: | Massa (ton) | | Volume (m³) | | | |
| Final: | Massa (ton) | | Volume (m³) | | | |
| Trituração | | | | | | |
| Respostas | | | | | | |
| Produto triturado: | | | | | | |
| Jacinto d'água | | | | | | |
| Máquina utilizada: | Tipo de máquina/veículo | Tipo de combustível | Tempo de Utilização (h) | Potencia ou Consumo Médio (Watts ou litros) | Custo Sem Iva (Por Watt ou litro) | |
| Inicial: | Massa (ton) | | Volume (m³) | | | |
| Final: | Massa (ton) | | Volume (m³) | | | |

| Embalagem | | Respostas | | | | | Comentários/Questões |
|--------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|---------------------------|------------|----------------|---|
| Máquina utilizada: | Tipo de máquina | | Tempo necessário (h) | Tipo de energia utilizada | | **Potência (W) | |
| | | | | *Combustão de: | Elétrica | | *Especificar o tipo de combustível, exemplo "diesel". |
| | | | | | Sim () | | **Caso a máquina utilizada no processo seja elétrica. |
| Tipo de embalagem: | Granel () | | EcoBag() | | Outro: | | |
| Material: | | | | | | | |
| Custo por Unidade: | | | | | | | |
| Origem da embalagem: | Nome | Tipo de veículo | Tipo de combustível | Distância percorrida(km) | Massa (Kg) | Volume (m³) | |
| | | | | | | | |
| Capacidade: | Volume (m³) | | | Massa (Kg) | | | |
| | | | | | | | |
| Massa da embalagem (Kg): | | | | | | | |
| | | | | | | | |

| Água | | Respostas | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|---|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------|------------------|--------------|-----------------|--------------------|--|
| Volume total de água consumida: | | | | | | | | | | | | |
| Origem da água: | | | | | | | | | | | | |
| Consumo de água por Pilha: | Pilha | Consumo (m³/mês) | | | Custo médio por m3 | | Pilha | Consumo (m³/mês) | | | Custo médio por m3 | |
| | 1 | | | | | | 7 | | | | | |
| | 2 | | | | | | 8 | | | | | |
| | 3 | | | | | | 9 | | | | | |
| | 4 | | | | | | 10 | | | | | |
| | 5 | | | | | | 11 | | | | | |
| | 6 | | | | | | 12 | | | | | |
| Energia | | Respostas | | | | | | | | | | |
| Outros: | | | | | | | | | | | | |
| Se possuir informação mensal (preencher o quadro): | Pilha | Elétrica (kWh/mês) | Gasóleo (m³/mês) | Gas (m³/mês) | Custo (por mês) | Pilha | Elétrica (kWh/mês) | Gasóleo (m³/mês) | Gas (m³/mês) | Custo (por mês) | | |
| | 1 | | | | | 7 | | | | | | |
| | 2 | | | | | 8 | | | | | | |
| | 3 | | | | | 9 | | | | | | |
| | 4 | | | | | 10 | | | | | | |
| | 5 | | | | | 11 | | | | | | |
| | 6 | | | | | 12 | | | | | | |
| Especificar o consumo de energia mensal por equipamento: | Equipamento | Elétrica (kW/mês) | Potência elétrica (W) | Período de funcionamento (h/dia) | Gasóleo (m³/mês) | Custo (por mês) | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Águas residuais | | Respostas | | | | | | | | | | |
| Aplicável: | | SIM () | | | NÃO () | | | | | | | |
| Volume de águas residuais produzidas (m³/mês): | | | | | | | | | | | | |
| 12.3 Qual o destino desta água residual (coletor municipal, solo, corpo hídrico): | | | | | | | | | | | | |
| Existe um tratamento antes da destinação final: | | SIM () | | | NÃO () | | | | Qual: | | | |
| Composição da água residual | | Se possuírem dados de caracterização, por favor anexem. | | | | | | | | | | |
| Custo de Tratamento (Euros S/IVA) | | | | | | | | | | | | |
| Resíduos em geral | | Respostas | | | | | | | | | | |
| Aplicável: | | SIM () | | | NÃO () | | | | | | | |
| Resíduos gerados: | Tipo de resíduo | Quantidade de resíduo | Especificar unidade (unid., Kg, m3) | Tipo de destino (Especificar) | Frequência de Recolha de resíduo | Custo de Tratamento (Euros/mês) | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Transporte do resíduo: | Destino | Distância (Km) | Tipo de veículo | Consumo de combustível (L/km) | Custo (por litro) | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |