

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

CICLO DE VIDA NO BENEFICIAMENTO DO ARROZ EM PELOTAS-RS

LIFE CYCLE IN RICE PROCESSING IN PELOTAS-RS

* Lílian de Queiroz Firmino¹

Gizele Ingrid Gadotti²

Viviane Farias Silva³

Rayanne Maria Galdino Silva⁴

Ana Paula Rozado Gomes⁵

Rafael Priebe Griep⁶

Recibido el 4 de mayo de 2023. Aceptado el 15 de agosto de 2023

Abstract

Rice is a cereal of great importance for human consumption. The industrialization of this grain has a high impacting potential and therefore the research was carried out aiming to identify the sector with the greatest polluting potential using the Life Cycle Assessment as a methodology verifying the balance of specific inputs and outputs of rice grain processing. For this, openLCA 1.10.2 software was used, fed with secondary data from the "Ecoinvent 3.6 apos unit" database and its method package, choosing within it the CML 2001 model containing the impact categories to be analyzed. For complete data modeling, the Life Cycle Inventory built from the grouping of activities was also inserted, forming and characterizing the processing inputs and outputs, with primary data, for three process areas: Sector 1- Reception, Sector 2-Processing and Sector 3-Packaging. For the production of 1 bale of white rice, this being the considered functional unit. In the Life Cycle Impact Assessment in rice processing, 6 categories of impacts were obtained that received greater contributions from the process. As a main conclusion, it appears that the activities analyzed are potential contributors to the six categories analyzed, these received 100% of contributions from the process, and as a result of the contribution of the activities grouped by sectors, it was concluded that the greatest impact potential is on Sector 1, with 72.2%, and then on Sector 2, with 23.9%, with the highest energy consumption and generation of the most waste. bulky and not used in the process.

Keywords: grain processing, impact categories, CML 2001, openLCA.

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais - PPGEGRN, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCAmb, Universidade Federal de Pelotas, Brasil.

³ Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal - UAEF, Universidade Federal de Campina Grande, Campus Patos/PB - Brasil.

⁴ Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - DECA, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

⁵ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes - PGCTS. Universidade Federal de Pelotas/RS, Brasil.

⁶ Instituto Federal Sul-riograndense, Campus Pelotas, Brasil.

* *Autor correspondente:* Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais - PPGEGRN, Universidade Federal de Campina Grande. Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58109-970, Campina Grande, PB - Brasil. Email: naililufcgcta@gmail.com

Resumo

O arroz é um cereal de grande importância para alimentação humana. A industrialização deste grão tem elevado potencial impactante e por isso a pesquisa foi realizada objetivando-se identificar o setor com maior potencial poluidor utilizando a Avaliação de Ciclo de Vida como metodologia verificando o balanço das entradas e saídas específicas do beneficiamento do grão de arroz. Para isso, foi utilizado o software openLCA 1.10.2, alimentado com dados secundários do banco de dados da "Ecoinvent 3.6 apos unit" e seu pacote de método, escolhendo dentro dele o modelo CML 2001 contendo as categorias de impactos a serem analisadas. Para modelagem completa dos dados foi inserido também o Inventário de Ciclo de Vida construído do agrupamento de atividades de empresa de beneficiamento de arroz formando e caracterizando as entradas e saídas do beneficiamento, com dados primários, para três áreas do processo: Setor 1-Recepção, Setor 2-Processamento e Setor 3-Empacotamento. Para produção de 1 fardo de arroz branco, sendo esta a unidade funcional considerada. Na Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida no beneficiamento do arroz foram obtidas 6 categorias de impactos que receberam maiores contribuições do processo. Como principal conclusão, constata-se que as atividades analisadas são potenciais contribuintes para as seis categorias analisadas, estas receberam 100% de contribuições do processo, e como resultado das atividades agrupadas por setores conclui-se que o maior potencial impactante está sobre o Setor 1, com 72.2%, e em seguida sobre o Setor 2, com 23.9%, com maior consumo de energia e geração do resíduo mais volumoso e não aproveitado dentro do processo.

Palavras-chave: processamento de grãos, categorias de impacto, CML 2001, openLCA.

Introdução

O arroz é um alimento básico para bilhões de pessoas em todo o mundo, especialmente em países da Ásia, África e América Latina, onde ele é uma fonte fundamental de calorias e nutrientes. Além disso, o arroz é um dos alimentos mais cultivados e comercializados globalmente, sendo uma importante commodity agrícola em muitos países. A produção e comércio de arroz também têm um papel significativo na economia mundial, gerando empregos e renda para milhões de pessoas, principalmente no Brasil, onde, a região Sul é a maior produtora, o Rio Grande do Sul com cerca de 70% do total da produção nacional resultando em 2.27% do seu PIB, e Santa Catarina com 9.8% na safra de 2019/2020 (Henkin *et al.*, 2005; CONAB, 2019; IRGA, 2020).

A industrialização do arroz teve um impacto significativo na produção, comércio e consumo desse cereal em todo o mundo, trazendo benefícios e desafios para a sociedade e para o meio ambiente, contudo, também se tem uma série de impactos negativos, incluindo a geração de resíduos que podem ser prejudiciais ao meio ambiente, como o descarte inadequado das cascas, emissões de gases do efeito estufa, uso de energia e água, geração de efluentes e de resíduos de embalagens. Assim é importante adotar práticas conscientes e eficientes sobre a destinação de seus resíduos, a exemplo da casca (Brandalise, 2018).

Da massa do arroz a ser processado de 20% a 33% equivale a cascas, essas são consideradas como um dos maiores resíduos, pois estima-se que são gerados no mundo 134 milhões de toneladas deste resíduo por ano (Shafie *et al.*, 2012; Lim *et al.*, 2012; Quispe *et al.*, 2017). Tendo como entradas básicas a energia, água e biomassa ao passo que são lançados para o ambiente particulados sólidos para o ar, para o solo, bem como efluentes e resíduos sólidos, sendo o principal e mais volumoso as cascas, que apesar de ser o maior volume entre os resíduos, possui potencial para ser convertida em energia (Inácio, 2016).

Os resíduos são um problema ambiental significativo em muitas indústrias, e a Unidade de Beneficiamento de Arroz (UBA) não é exceção. Por isso, é importante avaliar o impacto ambiental da atividade, identificar oportunidades para reduzir a geração, melhorar o gerenciamento dos resíduos gerados e promover a adoção de práticas mais sustentáveis e responsáveis, contudo, percebe-se que ainda há carência nas pesquisas científicas relacionadas a determinação da quantidade do fluxo de entrada e saída das UBAs, destacando a relevância desse estudo.

Acrescenta-se que a identificação de resíduos pode ajudar a empresa a cumprir as regulamentações ambientais aplicáveis e a estabelecer metas para reduzir a geração de resíduos e promover a sustentabilidade. Nesse sentido, Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica por meio da qual empresas são encorajadas a considerar sistematicamente questões ambientais associadas à cadeia produtiva, visto que a aplicação da ACV pode representar uma mudança estratégica no que se refere a Sistema de Gestão Ambiental da empresa (Júnior *et al.*, 2008; Dalmora & Hemkemeier, 2023). Assim, através de instrumentos adequados para a gestão eficiente dos resíduos gerados na UBA, poderá contribuir para a redução de custos, a melhoria da eficiência e a promoção de uma imagem positiva da empresa perante a sociedade.

Salienta-se ainda que a ACV é uma ferramenta importante para a análise de impactos ambientais, pois permite uma análise abrangente dos impactos de um produto ou processo, incluindo a identificação de impactos associados a etapas que normalmente não seriam consideradas, como o fluxo de entrada e saída de matérias-primas e de energia (Galindro *et al.*, 2020). Semelhante ao que se propõem o presente estudo, autores como Nabavi-Pelesaraei *et al.* (2019) no Irã e Nunes *et al.* (2017) no sul do Brasil analisaram o processamento do grão de arroz; Guerri *et al.* (2013) na produção leiteira do Brasil, e na produção de farelo de soja os autores Dalgaard *et al.* (2008) aplicaram a ACV em busca da quantificação de impactos ambientais associados à industrialização de produtos.

Ante o exposto, este estudo foi realizado objetivando-se aplicar a ACV para avaliar os impactos ambientais ocasionados no processo de beneficiamento de arroz.

Material e métodos

O estudo foi realizado no município de Pelotas (RS), situado a 261 quilômetros da Capital Porto Alegre. Cidade bastante industrializada, e inserida na cadeia agroindustrial orizícola da região sul, gerando emprego e renda (SOSBAI, 2018; IRGA, 2020).

A fonte para a coleta primária de dados da Unidade de Beneficiamento do Grão de Arroz (UBA), conforme descrito pelo IBGE (2016) é de pequeno porte, contando com 90 funcionários assalariados. Esta UBA faz o processamento deste grão durante todo o ano, sendo proveniente de diversos produtores da região, e já recebendo o grão seco. A secagem é realizada em fornalha localizada em zona rural e em seguida transportados, percorrendo uma distância média de 10 km, atuando como uma extensão da UBA localizada na zona urbana do mesmo município.

Foram realizadas visitas técnicas na UBA, durante três meses (janeiro, fevereiro e março) do ano de 2020, coletando dados primários, caracterizando as atividades do beneficiamento, identificando e quantificando geração de resíduos, produto e subprodutos do grão de arroz beneficiado (MAPA, 2012).

Na UBA o grão ainda em casca foi submetido ao processamento, obtendo-se o produto final do processo a ser analisado com a metodologia ACV. Para aplicação desta como ferramenta metodológica foram realizadas as quatro etapas que a compõem conforme descrito pela ABNT NBR ISO 14 044 (ABNT, 2009).

Definição do Objetivo e Escopo

O objetivo da ACV consistiu na identificação e quantificação das entradas (material e energia) e saídas (resíduo, produto e subproduto), bem como, quantificar as potenciais categorias de impactos ambientais como resultado da industrialização do arroz. Para isso, o processo de beneficiamento foi delineado agrupando atividades em três setores: Setor 1-Recepção, Setor 2-Processamento, e Setor 3-Empacotamento, assim, será possível verificar o conjunto de atividades que mais pontuarão para quantificação das categorias em resposta ao maior número de saídas resíduo do processo, conforme Ciroth *et al.* (2020).

O escopo da ACV seguiu a abordagem do tipo portão ao portão (gate-to-gate), incluindo-se o transporte para contemplar uma necessidade da UBA, desde o recebimento para limpeza e secagem do grão até o empacotamento do arroz pronto para expedição, excluindo etapas agrícola e de distribuição para consumidor.

A Unidade Funcional (UF) considerada foi um fardo pesando aproximadamente 30.757 kg de arroz branco polido, sendo o produto final do beneficiamento. Este que deixa ao longo das etapas de

beneficiamento alguns aspectos ambientais que serão analisados. Os passos seguintes foram o Inventário e a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida.

Inventário do Ciclo de Vida - ICV

Os dados utilizados para construção do ICV (Figura 1) foram extraídos de registros diários na UBA, compilados em 2019, um ano de funcionamento e produção normal da empresa. Alguns fluxos de saídas do beneficiamento foram detectados como saída de referência, segundo Ciroth *et al.* (2020), estas promovem a associação entre os setores já mencionados e assim são introduzidas como fluxo de entrada do setor seguinte.



Figura 1. Entradas e saídas do ciclo de vida do beneficiamento de arroz branco. Fonte: Autores (2023).

Em relação as demandas de eletricidade (Figura 1), que foram obtidas da Concessionária do Estado do Rio Grande do Sul a CEEE (Companhia Estadual de Energia Elétrica), e da fonte hídrica a SANEP (Serviço de Tratamento de Água e Esgoto de Pelotas), foi realizado um levantamento de máquinas e equipamentos utilizados nas dependências da UBA para delinear o consumo de água e energia por setor na unidade beneficiadora (Tabela 1).

Tabela 1. Inventário de máquinas e equipamentos da UBA por área do processamento

Máquina/Equipamento	Descrição e quantidade de unidades
Setor 1: Recepção	
Máquina de pré-limpeza	Extração de impurezas; 1 unidade, acionada 50 vezes ao dia durante 3 minutos
Mini engenho de provas	1 unidade, acionado 50 vezes ao dia durante 10 minutos
Balança	1 unidade, ligada 24 h dia ⁻¹
Moega externa	1 unidade, acionada, em média, 10 vezes ao dia
Peneira com ventilador	Extração de impurezas; 1 unidade
Moega interna	1 unidade, acionada 3 vezes na semana
Exaustores/filtros de manga	Sucção de pó, poeira e farelo; 3 unidades, ligado 24 h dia ⁻¹
Esteira suspensa	Transporte horizontal de grãos
Flutuador	Extração de poeira e outros produtos leves; 1 unidade
Flutuador	Extração de poeira e outros produtos leves; 1 unidade
Peneira cilíndrica	Extração de talos, palha, grãos e outros produtos leves; 1 unidade
Elevador de caneca	Transporte vertical de grãos
Rosca helicoidal	Transporte horizontal de grãos
Setor 2: Processamento	
Separador densimétrico (Saca-pedra), 2 motores	Separa pedra e metal; 1 unidade
Descascador, 4 motores	Retirada da casca; 4 unidades
Mesa densimétrica	Separação de esbramado e marinho; 2 Unidades
Brunidor	1ª passo do polimento; 3 unidades
Polidor a água	2ª passo do polimento
Polidor a ar	3ª passo do polimento; 3 unidades
Trieur	Separação de quebrados e inteiros
Eletrônicas	Separação de quebrados; 4 unidades
Exaustores/filtros de manga	Sucção de pó, poeira e farelo; 2 unidades, ligado 24 h dia ⁻¹
Rosca helicoidal	Transporte horizontal de grãos
Elevador de caneca	Transporte vertical de grãos
Setor 3: Empacotamento	
Peneira (Máquina conjunto de peneiras) 2 motores	Extração de impurezas; dosagem de quebrados no pacote; 3 unidades
Empacotadeira	Embalagem do produto; 4 unidades
Enfardadeira	Expedição do produto; 2 unidades
Rosca	Transporte horizontal de grãos
Esteiras transportadora	Expedição do produto; 2 unidades

Fonte: Firmino (2021).

Na realização da descrição de maquinário existentes e utilizadas nos setores da UBA (Tabela 1), os dados coletados e obtidos foram os seguintes: Potência (W), Corrente (I), Tensão (V), Fator de potência (ϕ), e Rendimento do motor (RM). A Potência Elétrica (PE) foi determinada de acordo com o potencial de consumo dos maquinários, segundo a ANEEL (2015), obtendo-se o valor de energia por setor na UBA.

Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida - AICV

Para modelagem dos dados existem softwares específicos para ACV, alguns são pagos outros livres e gratuitos a exemplo do openLCA 1.10.2 (Licença de uso Nº 244329), utilizado na etapa de AICV nesta análise, utilizando o banco de dados “Ecoinvent v.3.6 apos unit” e Ecoinvent Licia cedidos para fins educacionais em um país não pertencente à OCDE, ou seja, gratuito no Brasil.

Com as etapas metodológicas apresentadas foi avaliado o processamento de um fardo de arroz branco, sendo esta a UF utilizada, com o modelo CML 2001 descrito por Guinée *et al.*, (2001) contendo as categorias de impactos: Ecotoxicidade Aquática; Aquecimento global; Ecotoxicidade Terrestre; Uso da Terra; Acidificação; Eutrofização; Oxidação Fotoquímica; Toxicidade humana; Depleção da Camada de Ozônio; e Depleção de Recursos Abióticos.

Resultados e discussões

Com uma capacidade produtiva de aproximadamente 3,353 fardos dia⁻¹, admitindo-se para a UBA um tempo máximo de 16 horas dia⁻¹ para seu funcionamento no Setor 3. Referente ao período de maior produção entre os meses de setembro, outubro e novembro. Com potencial para alcançar uma produção mensal maior que 94,000 fardos mês⁻¹.

Como resultado do ICV foi constatada a geração de diferentes resíduos entre as áreas do beneficiamento, muitos deles comuns a tantos outros empreendimentos como relatam Andrade *et al.* (2018). Por isso o resultado da ACV está sobre o processo com seu produto, subprodutos e resíduos específicos das entradas e saídas para o beneficiamento do grão de arroz (Figura 2).

A quantificação e distinção entre subprodutos e resíduos na produção de arroz branco, de fundamental importância para modelagem dos dados no software, permitiu identificar o maior número de saídas em subprodutos de aproveitamento econômico para a empresa, ocorrendo no Setor 2 onde também é gerado o resíduo mais volumoso, a casca (Figura 2).

É possível perceber, entre as destinações ou finalidades dos resíduos na UBA, que mais de 8 mil t de cascas não são empregadas na secagem do grão. A justificativa para o não uso deve-se ao fato de que a lenha de eucalipto utilizada pela unidade na recepção gera apenas 1% do volume consumido no processo de secagem, porcentagem essa segundo Raad *et al.* (2006).

De acordo com Foletto *et al.* (2005) 18% do peso da casca é convertido em cinza, gerando ainda um grande volume a ser destinado. E por isso, os gestores da unidade acabam por optar pela destinação da casca, esta é enviada à produtores de aves e prestadoras de serviços com destinação final adequada para este resíduo.

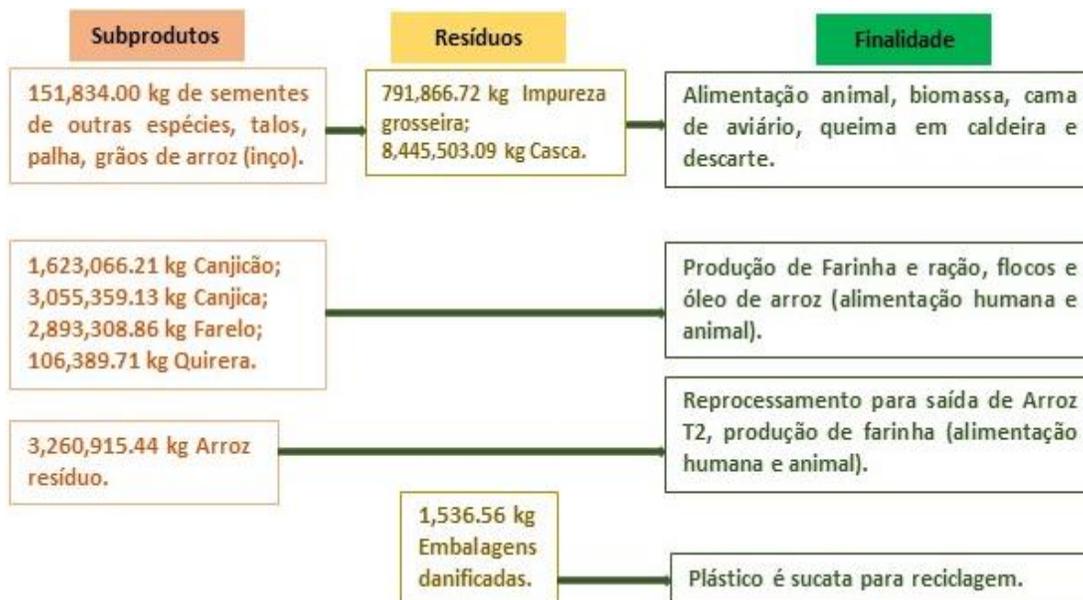


Figura 2. Saídas de subprodutos e resíduos, em kg, com aproveitamento econômico pela UBA. Fonte: Autores (2023).

Estão agrupadas as categorias de impactos ambientais com maiores contribuições negativas ao meio ambiente, com tempo de fixação na atmosfera de 100 anos segundo Alves (2018), como resposta a AICV do arroz branco. Entre elas o maior potencial de alteração está sobre ambientes aquáticos, marinho e de água doce, bem como possíveis sedimentos que possam se formar nestes meios (Figura 3).

Sobre toxicidade de químicos letais à peixes, na categoria PESM, constata-se um potencial de comprometimento ao ecossistema marinho (Figura 3). Visto que, segundo Barjoveanu *et al.* (2018), poluentes com capacidade de formar sedimentos marinhos, ligando-se uns aos outros, retornam à coluna de água, ficam disponíveis em forma de “alimento” para organismos e estes, por fim, passam a compor a cadeia alimentar aquática.

Vale salientar que a área do presente estudo encontra-se localizada no Estuário da Lagoa dos Patos, área reconhecida pelo modelo matemático aqui empregado, na região Sul do Brasil. E de acordo com Sala *et al.* (2015) trata-se de uma zona susceptível a influenciar valores elevados para estudos desse tipo.

Ao analisar a categoria PESM, Silva (2014) verificou em sua pesquisa contribuições 9 vezes menores de 1.4DBC-eq em relação aos verificados na presente pesquisa com arroz. No entanto, a segunda categoria de maior pontuação, o PEMA, comparado ao estudo de Nabavi-

Pelesaraei *et al.* (2019) também com arroz, se vê semelhanças e esta categoria está de fato entre as que recebem maiores contribuições a exemplo do que os autores apresentaram, um potencial de 10,918.74 kg de 1.4DBC-eq.

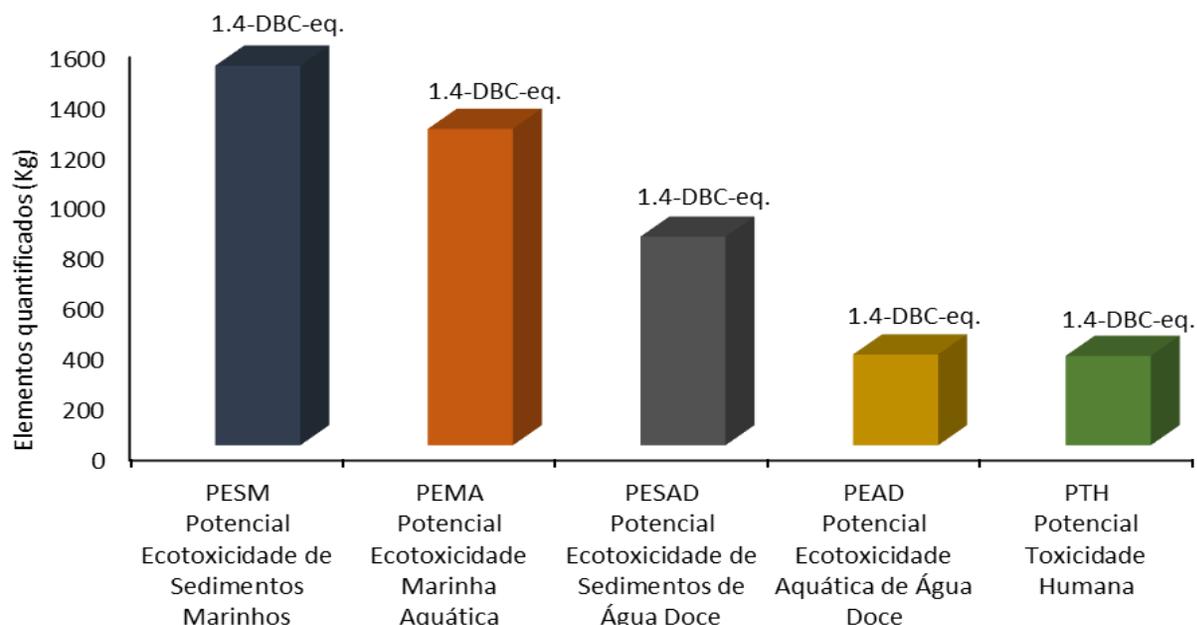


Figura 3. Categorias de impactos com maiores contribuições no beneficiamento de um fardo de arroz (1.4 DCB-eq).
Fonte: Firmino (2021).

Em Camaquã-RS um estudo utilizando arroz parboilizado, realizado pelo autor Nunes *et al.* (2017), apresenta o beneficiamento do grão com um potencial 13 vezes menor, para PEMA, ao da presente pesquisa com ACV no município de Pelotas-RS (Figura 3). Vale destacar que os autores supracitados analisaram o ICV do processo de parboilização do grão, restringindo atividades como o beneficiamento em si (a separação de quebrados, a classificação e o polimento), além do empacotamento do produto final. Atividades que fazem parte do setor de transformação da matéria prima, denominado de setor 2 na presente pesquisa, algo que pode ter influenciado na obtenção de menores valores em seus estudos.

Na Figura 3 averigua-se, na ACV com arroz branco, uma contribuição de 360.5 kg 1.4-DCB-eq para a categoria PEAD. Uma contribuição 30 vezes maior em relação ao trabalho de Nunes *et al.* (2017) com arroz parboilizado, e em relação a arroz branco, estudo realizado por Nabavi-Pelesarai *et al.* (2019) no Irã, um valor de 120 vezes maior. Com isso, constata-se que com base nos potenciais discutidos por Nunes *et al.* (2017), considerando ambientes aquáticos, somados aos resultados

do presente estudo o beneficiamento de grãos de arroz pode oscilar de 93.48 kg de 1.4DBC-eq. a 1,255.9 kg 1.4DBC-eq. para água doce - PEAD e água salgada - PEMA e conseqüentemente para sedimentos que possam se formar (PESM e PESAD).

Como justificativa para maiores valores na presente pesquisa, destaca-se que a mesma conta com um ICV bastante detalhado em comparação aos trabalhos dos autores citados (Silva, 2014; Nunes *et al.*, 2017; Nabavi-Pelesarai *et al.*, 2019), neste ponto, pode-se afirmar que um maior detalhamento das entradas e saídas, contando com dados primários e secundários para o software, acarretará em uma análise mais aprofundada/detalhada.

É válido destacar que o beneficiamento, bem como o produto análise do presente estudo, está localizado na região Sul do Brasil que conta com o Aquífero Guarani, um dos maiores estoques de água subterrânea no mundo, mais o estuário da Lagoa dos Patos, já mencionado anteriormente. Por isso, deve-se à região do empreendimento a influência dos valores elevados.

Os resultados apresentados destacam a importância de análises mais aprofundadas sobre o possível “poder” poluidor aquático dessa atividade, verificando a sensibilidade e uma possível sub ou sobre estimação. Visto que, não sendo brasileiro o banco de dados, os fatores de impactos nas categorias para água salgada são muito mais elevados do que para água doce, ao que se esperava maiores valores para esta última.

Para tanto, constata-se que o emprego de um banco de dados brasileiro proporcionaria maior clareza dos resultados para os dois ambientes aquáticos supracitados, porém, pode-se afirmar que esta pesquisa apresenta possíveis potenciais e não exatamente o impacto real/medido, podendo assim, não ser tão aproximado a realidade em regiões brasileiras.

A categoria Potencial de Aquecimento Global (PAG), que diz respeito a mudanças no meio ambiente, obteve no presente estudo, uma contribuição de 831.53 kg CO₂-eq. Em relação a outras ACVs foram verificadas contribuições por Silva (2014), Nunes *et al.* (2017) e Nabavi-Pelesarai *et al.* (2019) de 424.44; 4,041.27 e 258.67 kg CO₂-eq. respectivamente.

Averigua-se que tanto as contribuições desta ACV como as contribuições de outros estudos na categoria PAG são quantificados em resposta à modificação de matéria prima, sendo do processamento, segundo Iribarren *et al.* (2012), as atividades com maior contribuição no PAG.

As contribuições do PAG associadas a atividades que liberam gases de intensificação do efeito estufa como o CO₂, o principal gás, com potencial para influenciar a temperatura e conseqüentemente o clima em escala regional e também global, podem acabar por retornar de forma negativa para o homem devido a sua interação social com a natureza (Gerling *et al.*, 2016).

O PAG, devido a sua importância ambiental e sua representatividade nos estudos de ACV, é a categoria mais difundida, a exemplo do seu potencial para influenciar contribuições para demais categorias analisadas (Guerci *et al.*, 2013; Medeiros *et al.*, 2018). Por isso, Frischknecht *et al.* (2016) afirmam ser comum alterações na biodiversidade e na saúde humana somando-se para quantificação de categorias relacionadas, e assim, na presente pesquisa foram analisadas contribuições de 355.11 kg 1.4DBC-eq. na categoria Potencia Toxicidade Humana (PTH).

Já os autores Guinée *et al.* (2001) relatam a abrangência da categoria PTH com escala local, regional e global sobre seres humanos. Considerando substâncias que apresentam ligações químicas de difícil quebra molecular, facilmente transportadas e venenosas, sendo a respiração e ingestão de substâncias tóxicas, não biodegradáveis, a rota de intoxicação mais comum nos seres vivos.

Em se tratando de arroz, as partículas de sílica na composição da sua casca são classificadas como tóxica, sendo assim apresentado por Nabavi-Pelesarai *et al.* (2019) uma contribuição de 10.15 kg 1.4DBC-eq. de PTH no processamento de arroz, potencial 30 vezes menor do verificado para o modelo de ciclo de vida do arroz neste estudo. Isso se deve ao fato de que tal categoria é sensível e suscetível a receber elevados valores influenciada pela geografia da região e seu clima, promovendo alterações quanto a sensibilidade da população diante de mecanismos de exposição, isso segundo Sala *et al.* (2015), e é neste contexto que se enquadra a região do presente estudo, justificando o resultado da ACV para esta categoria.

Das atividades no beneficiamento que contribuíram para quantificação das categorias são apresentadas, de acordo com modelagem extraída do software, da utilização de energia, para Setor 1, Setor 2 e Setor 3. Analisando a contribuição destas áreas para cada categoria de impacto, averigüe-se, na Figura 4 com as seis categorias que receberam maiores contribuições, o Setor 1 com maior influência comparada aos setores de descasque e empacotamento.

Analisando demanda por eletricidade, constata-se sua maior contribuição para o valor da categoria Potencial Ecotoxicidade de Água e Sedimentos Marinhos com 1.67 e 1.69 kg 1.4-DCB-Eq. respectivamente no Setor 1 (Figura 4), averigüa-se também ser o Setor 3 onde há menor necessidade por este insumo.

Para o consumo de água, diferente do consumo de eletricidade, modelado com auxílio do software, com volume de 2% do peso do grão já polido, não pontuou para quantificação e pontuação de nenhuma das categorias do modelo matemático utilizado. Sobre atividades não contribuírem na pontuação das categorias analisadas, Silva (2014) apresenta o transporte, mesmo fazendo parte da AICV, semelhante ao constatado nesta pesquisa em relação ao consumo de água no processo.

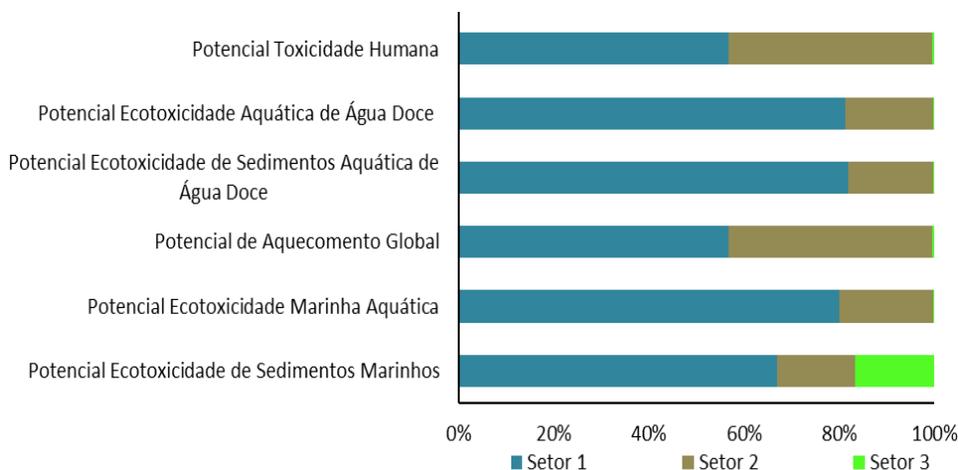


Figura 4. Consumo de energia na pontuação das categorias analisadas para o beneficiamento de um fardo de arroz branco (0 menor contribuição a 1 maior contribuição). Fonte: Firmino (2021).

Vale destacar a importância de não desconsiderar valores muito pequenos para a análise do ICV, a exemplo da água como insumo, pois o que se constata no presente estudo é a ausência de sua contribuição para quantificação e pontuação das categorias analisadas. Ao que, se comparado aos “pequenos” valores de contribuição da demanda por energia, constata-se ser um insumo de vital importância para que se realize o ciclo de vida do arroz branco na indústria.

Analisando a necessidade de energia elétrica, do primeiro ao último mês do ano de 2019, o resultado vai de encontro ao verificado durante o levantamento de máquinas e equipamentos da UBA para os setores já apresentados e, de fato, é no Setor 2 onde há maior consumo, sempre com o dobro de tempo de funcionamento em relação à recepção (Setor 1) (Tabela 2).

A AICV na produção de um fardo de arroz demonstra que são consumidos em média 11.73 kWh. Logo, o emprego da biomassa para geração de calor e eletricidade, uma forma de gerenciar a destinação do resíduo mais volumoso, tem potencial para diminuir a demanda por energia tanto no Setor 2, convertida em energia termelétrica, quanto no Setor 1 na forma de calor para secagem dos grãos (Tabela 2).

Foi atribuída a uma logística ineficiente a não utilização da casca de arroz no processo de beneficiamento realizado pela UBA, apesar de haver na região o emprego dessa casca na geração de energia térmica para o funcionamento de fornalhas ou caldeiras a vapor. Seria uma alternativa inserir energia no sistema de distribuição local, por meio de uma termelétrica, porém, a relação custo benefício para empresas de pequeno porte, como a UBA analisada neste estudo, acaba

sendo inviável, neste caso recomenda-se a associação com outras empresas do ramo, o que a associação de indústrias já realiza informalmente junto a municípios da região.

Tabela 2. Energia consumida por setor de estudo em kWh, de janeiro a dezembro de 2019

Meses	Setor 1 kwh/fardo produzido (UF)	Setor 2 kwh/fardo produzido (UF)	Setor 3 kwh/fardo produzido (UF)
Janeiro	0.38982	4.87262	0.08142
Fevereiro	0.55135	4.81562	0.07678
Março	0.50317	3.83023	0.11576
Abril	0.57679	5.09172	0.08977
Mai	0.50412	4.20299	0.14040
Junho	0.86928	7.24738	0.12105
Julho	0.90479	6.88751	0.11504
Agosto	0.64159	5.63062	0.10815
Setembro	0.43317	4.12739	0.12639
Outubro	0.40757	3.68117	0.12297
Novembro	0.58918	5.11676	0.16409
Dezembro	0.78588	6.20725	0.08640
Total (2019)	7.15671	61.71127	1.34822

Fonte: Autores (2023).

Foram identificadas as atividades que mais contribuíram para quantificação e pontuação das categorias, com destaque para aquelas com maior número de entradas para o beneficiamento do arroz branco e em qual setor do processo analisado (Figura 5).

O agrupamento de atividade por setor (Figura 5), iniciado no portão de entrada da UBA e finalizado na secagem do grão, evidencia que é do Setor 1 a maior contribuição para pontuação das categorias, com uma contribuição de 72.2%. Em segundo lugar, com maior número de saídas o Setor 2, contribuindo com 23.9%, de onde sai também o resíduo mais volumoso, as cascas, não aproveitado no processo, e por fim o Setor 3, também com contribuição significativa de 23.9% referente ao empacotamento do produto final.

Diferente do que declara Citroth *et al.* (2020) sobre maior número de saídas em uma ACV estar atrelado ao maior potencial impactante de um processo, nesta pesquisa com arroz averigua-se maior número de saídas sendo subprodutos (Figura 2) e não recaindo sobre sua área de geração o maior potencial impactante (Figura 5).

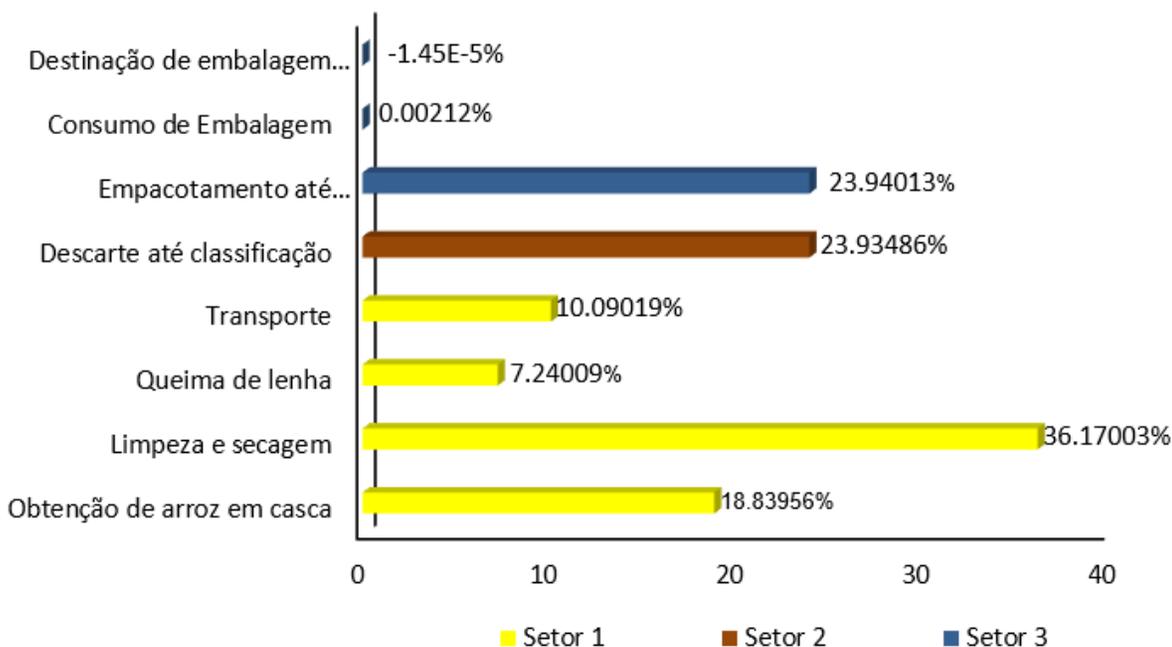


Figura 5. Porcentagem de contribuição das atividades na pontuação das categorias por setor. Fonte: Firmino (2021).

A atividade industrial, o beneficiamento do arroz branco, analisado em sua totalidade, semelhante ao apresentado por Silva (2014) sobre impactos ambientais de atividade industriais apresentar contribuições para todas as categorias analisadas totalizando 100% de contribuição, destaca-se que o mesmo foi verificado nesta pesquisa. O potencial de 100% da industrialização do grão de arroz nesta ACV indica que todas as atividades são igualmente potenciais contribuintes para as seis categorias analisadas. E isso, independe da sua pontuação total, se para MSETP com maior pontuação ou PTH com menor pontuação.

Logo, para identificar qual área do processo tem maior potencial impactante Ciroth *et al.* (2020) afirmam que está sobre o maior número de saídas em resíduo. Ao que, para a presente pesquisa contata-se ser o Setor 1 com 4 entradas e 4 saídas, sendo um subproduto; em seguida, o Setor 2 com 5 entradas e 8 saídas, sendo que apenas uma dessas é resíduo.

A análise das atividades é análoga para todas as categorias do modelo utilizado, ao que se constata a necessidade de maior transparência das indústrias como forma de contribuir para a elaboração de um banco de dados especificamente para a rizicultura, priorizando os padrões de emissões considerando desde a preparação para cultivo até a chegada do produto para o consumidor final, toda a cadeia produtiva do arroz, tal qual estudo elaborado por WBCSD (2016).

Como contribuição desta pesquisa constata-se que a declaração de produto ambientalmente - *Environmental Product Declaration* (EPD) pode ser um ponto de partida em direção à sustentabilidade no setor industrial, com base na ferramenta ACV (Galindro *et al.*, 2020). E assim, aproximar cada vez mais a Gestão Ambiental a Gestão Empresarial.

Conclusões

Das entradas e saídas quantificadas nas atividades de processamento do grão de arroz conclui-se que é a recepção - Setor 1 o mais impactante ao meio ambiente devido a geração de resíduos, e em segundo lugar o processamento - Setor 2, com maior consumo de energia e gerando o resíduo mais volumoso, as cascas, porém não aproveitado pela unidade beneficiadora.

Agradecimentos

Este artigo faz parte da dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pelotas - PPGC/Amb/UFPEL - Rio Grande do Sul. Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo e ao Laboratório de Agrotecnologia (LABAGROTEC) pelo apoio na condução da pesquisa.

Referências bibliográficas

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR ISO 14 044: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. ABNT. 52p. Acesso em 19 jun. 2020, disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5560109/mod_resource/content/3/NBRISO14044%20.pdf
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica (2015). Aprenda a calcular o consumo de seu aparelho e economize energia. ANEEL. 12p.
- Andrade, M. D., Santos, P. C., Cordeiro, J., Alvarenga, C. A., Santos, C. I. F., Cordeiro, J. L. (2018) Analysis of destination of industrial solid waste in the state of Minas Gerais between the years of 2011 and 2016. *Research, Society and Development*, **8**(3), 1-20. <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i3.855>
- Alves, I. M. (2018) *Avaliação energética e ambiental do ciclo de vida de um sistema de abastecimento de água*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (Tecnologia Ambiental), Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, 71 pp.
- Barjoveanu, G., Gisi, S., Casale, R., Todaro, F., Notarnicola, M., Teodosiu, C. (2018) A life cycle assessment study on the stabilization/solidification treatment processes for contaminated marine sediments. *Journal of Cleaner Production*, **201**(1), 391-402. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.053>
- Brandalise, J. N. (2018) *Avaliação ecotoxicológica da cinza de casca de arroz*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (Tecnologia de Alimentos), Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas-UFPEL, 104pp.
- Ciroth, A., Noi, C., Lhose, T., Srocka, M. (2020) *openLCA 1.10.2 Comprehensive User Manual*. 2. ed. Berlim. GreenDelta GmbH, Germany.

- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento (2019) Brasília. Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2018/19, **6**(7), 119pp. Acesso em 08 set. 2020, disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>
- Dalmora, G., Luzzi, K., Hemkemeier, M. (2023). A contribuição da análise do ciclo de vida (acv) para a minimização dos impactos ambientais de processos produtivos: uma abordagem teórica. *RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar*, **4**(2), 1-14. <https://doi.org/10.47820/recima21.v4i2.2714>
- Firmino, L. Q. (2021) Avaliação de ciclo de vida no beneficiamento do arroz. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Engenharias. Universidade Federal de Pelotas-UFPEL, 94pp.
- Foletto, E. D., Hoffmann, R., Scopel Hoffmann, R., Portugal Jr., U. L., Jahn, S. L. (2005) Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. *Química Nova*, **28**(6), 1055-1060. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000600021>
- Frischknecht, R., Fantke, P., Tschümperlin, L., Niero, M., Antón, A., Bare, J., Jolliet, O. (2016) Global guidance on environmental life cycle impact assessment indicators: progress and case study. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, **21**(3), 429-442. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-1025-1>
- Galindro, B. M., Welling, S., Bey, N., Olsen, S. I., Soares, S. R., Ryding, S. O. (2020) Making use of life cycle assessment and environmental product declarations: A survey with practitioners. *Journal of Industrial Ecology*, **24**(5), 965-975. <https://doi.org/10.1111/jiec.13007>
- Gerling, C., Ranieri, C., Fernandes, L., Gouveia, M. T. J., Rocha, V. (2016) Manual de ecossistemas marinhos e costeiros para educadores. Santos, SP: Editora Comunicar.
- Guerci, M., Knudsen, M. T., Bava, L., Zucali, M., Schönbach, P., Kristensen, T. (2013) Parameters affecting the environmental impact of a range of dairy farming systems in Denmark, Germany and Italy. *Journal of cleaner production*, **54**(1), 133-141. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.035>
- Guinée, J.; Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Koning, A., Oers, L.V., Sleeswijk, A. W., Suh, S., Haes, H. A. U., Bruijn, J. A., Duin, R. V., Huijbregts, M. A. J. (2001) *Life cycle assessment: An operational guide to the ISO standards*. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML), Den Haag and Leiden, The Netherlands.
- Henkin, H., Rucatti, E. G., Kayser, V. H. (2005) Proposta de política para a redução dos desequilíbrios no mercado de arroz do Mercosul. *Lavoura Arrozeira*. Porto Alegre, **53**(437), 43-48.
- Iribarren, D., Moreira, M. T., Feijoo, G. (2012) Life cycle assessment of aquaculture feed and application to the turbot sector. *International Journal of Environmental Research*, **6**(4), 837-848.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016) Rio de Janeiro. *Demografia das empresas: Coordenação de metodologia das estatísticas de empresas, cadastros e classificações*, IBGE. Acesso em 21 set. 2020, disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101612.pdf>
- Inácio, R. M. (2016) *Panorama da utilização de resíduos do beneficiamento do arroz para a geração de energia no Brasil e formas de aplicação*. 98f, 2016. Dissertação, Mestrado Profissional em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Acesso em: 03 ago. 2020. Disponível em: <http://186.202.79.107/download/residuos-do-beneficiamento-do-arroz-para-a-geracao-de-energia-no-brasil.pdf>
- IRGA, Instituto Rio Grandense do Arroz (2020) Porto Alegre. *Boletim de resultados da lavoura de arroz - Safra 2019/2020: Produção municipal*. Acesso em 05 set. 2020, disponível em: <https://irga.rs.gov.br/safras-2>
- Júnior, A. F. B., de Moraes, R. M., Emerenciano, S. V., Pimenta, H. C. D., & Gouvinhas, R. P. (2008) Conceitos e aplicações de Análise do Ciclo Vida (ACV) no Brasil. *Revista Ibero Americana de Estratégia*, **7**(1), 39-44.
- Lim, J. S., Manan, Z.A., Alwi, S. R. W., Hashim, H. (2012) A review on the use of biomass from the rice industry as a source of renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16**(5), 3084-3094. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.051>

- MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2012) Brasília. Instrução Normativa, nº 34, de 29 de novembro de 2012. 9 pp. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 2012. Acesso em 20 jul. 2020, disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=918108049>
- Medeiros, L. M., Durante, L. C., Callejas, I. J. A. (2018) Contribuição para a avaliação de ciclo de vida na quantificação de impactos ambientais de sistemas construtivos. *Ambiente Construído*, **18**(2), 365-385. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000200259>
- Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S., Bandbafha, H. H., Chau, K. (2019) Comprehensive model of energy, environmental impacts and economic in rice milling factories by coupling adaptive neuro-fuzzy inference system and life cycle assessment. *Journal of cleaner production*, **217**(1), 742-756. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.228>
- Nunes, F. A., Seferin, M., Maciel, V. G., Ayub, M. A. Z. (2017) Life Cycle Assessment comparison between brown parboiled rice produced under organic and minimal tillage cultivation systems. *Journal of Cleaner Production*, **161**(1), 95-104. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.098>
- Quispe, I., Navia, R., Kahhat, R. (2017) Energy potential from rice husk through direct combustion and fast pyrolysis: a review. *Waste management*, **59**(1), 200-210. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.001>
- Raad, T. J., Pinheiro, P. C. C., Yoshida, M. I. (2006) Equação geral de mecanismos cinéticos da carbonização do *Eucalyptus* spp. *Cerne*, **12**(2), 93-106.
- Dalgaard, R., Schmidt, J., Halberg, N., Christensen, P., Thrane, M., Pengue, W. A. (2008) LCA of soybean meal. *Int J Life Cycle Assess*, **13**, 240-254. <https://doi.org/10.1065/lca2007.06.342>
- Sala, S., Ciuffo, B., Nijkamp, P. (2015) A systemic framework for sustainability assessment. *Ecological Economics*, **119**(1), 314-325. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.09.015>
- Silva, C. R. B. C. (2014) *Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de ingredientes aquícolas*. Dissertação de Mestrado em Ciências do Mar (Recursos Marinhos), Programa de Pós Graduação em Aquacultura e Piscas, Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar da Universidade do Porto-FEUP, 119pp.
- Shafie, S. M., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., Ahmad-Yazid, A. (2012) A review on biomass waste-based electricity generation in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16**(8), 5879-5889. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.06.031>
- SOSBAI, Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (2018) Farroupilha. *Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil*. In: Reunião técnica da cultura do arroz irrigado, v.32, 205pp. Acesso em 30 dez. 2020, disponível em: <http://www.sosbai.com.br>
- WBCSD, World Business Council for Sustainable Development (2016). *Global Cement Database on CO2 and Energy Information* – “Getting the Numbers Right” (GNR). WBCSD.