

ESTUDO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS NA PRODUÇÃO DE SUCO DE LARANJA INTEGRAL PASTEURIZADO COM E SEM A INCORPORAÇÃO DA FASE AGRÍCOLA

Study of the environmental impacts generated in the production of whole pasteurized orange juice with and without incorporation of the agricultural phase

Amanda Freitas Lima de Almeida^{1*}, Laura Helena Telmo Rios², Ilana Racowski¹

¹Faculdade de Tecnologia Termomecânica, São Bernardo do Campo, Brasil.

**E-mail*: amanda_fla12@yahoo.com.br

Data do recebimento: 09/06/2022 -Data do aceite: 13/09/2022

RESUMO: Sendo a laranja uma das principais frutas produzidas mundialmente e, tendo em vista que o Brasil é um dos maiores produtores da fruta, a qual gera de 50% a 60% de resíduo da massa inicial ao se obter seu suco, é extremamente relevante a realização do estudo de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) dessa produção. Esse estudo, baseado em uma relação de entradas e saídas ao longo de toda a cadeia produtiva do suco, permite identificar as etapas mais críticas que influenciam e promovem os impactos ambientais. A identificação dessas etapas é fundamental para auxiliar na compreensão de quais medidas devem ser tomadas e aumentar a eficácia delas, visando a tornar a produção mais amigável para o meio ambiente. Nesse cenário, o presente trabalho buscou, por meio da ACV, contabilizar os principais impactos das etapas de fabricação do suco de laranja, tanto desconsiderando a fase agrícola, quanto incluindo-a. Os resultados revelaram que as etapas de pasteurização e envase tiveram participação significativa nos impactos ambientais ao desconsiderar a fase agrícola. Já contabilizando tal fase, foi possível observar sua contribuição em todos os impactos ambientais analisados, sendo a depleção do ozônio estratosférico, a eutrofização marinha e o uso de terra os mais afetados por ela.

Palavras-chave: ACV. Cadeia produtiva do suco de laranja. Etapas críticas. Repercussão ambiental.

ABSTRACT: Since orange is one of the main fruit globally produced and considering that Brazil is one of the largest producers of this fruit, which generates 50% to 60% of residue from the initial mass when its juice is obtained, a study on the Life Cycle Assessment (LCA) of this production is extremely relevant. This study, based on a list of inputs and outputs along the entire juice production chain, allows the identification of the most critical steps that influence and promote environmental impacts. The identification of these steps is fundamental to help understand which measures should be taken and to increase their effectiveness, aiming to make the production more environmentally friendly. In this scenario, the present work sought, through LCA, to account the main impacts of the orange juice production steps, both disregarding the agricultural phase and including it. The results revealed that the pasteurization and bottling stages had a significant participation in the environmental impacts when disregarding the agricultural phase. Accounting this phase, it was possible to observe its contribution in all the environmental impacts analyzed, such as stratospheric ozone depletion, marine eutrophication and land use which is the most affected by it.

Keywords: LCA. Orange juice production chain. Critical steps. Environmental impact.

Introdução

Trazida ao Brasil pelos colonizadores e atualmente considerada um patrimônio nacional, mais especificamente do estado de São Paulo, a laranja é amplamente difundida e cultivada no país. Cerca de 12 mil fazendas cultivam essa fruta e são responsáveis por 34% da produção mundial de laranja. Seu subproduto mais conhecido e consumido é no formato de suco, representando 46% na paleta de sabores de sucos apreciados no mundo (CITRUSBR, 2017; MALISZEWSKI, 2021).

Os cítricos, categoria na qual a laranja se encaixa, estão entre as principais frutas produzidas mundialmente, ficando atrás somente da banana; além disso o Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo, atrás da China e da Índia, sendo o líder quando se trata da produção de laranja (FAO, 2021). A produção global dessa fruta cítrica totalizou 48,6 milhões de toneladas na safra 2020/21; representando um aumento de

5,5% em relação a 2019/20, e tal aumento se deve aos desempenhos brasileiro e mexicano (WHITAKER, 2021; USDA, 2021). A produção brasileira, no ano de 2020, foi de aproximadamente 15,8 milhões de toneladas em uma área de 586 mil de hectares e a estimativa para o ano de 2021, feita em julho do mesmo ano, é de 14,6 milhões em 585 mil hectares (IBGE, 2021).

Segundo o Inventário de árvores do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/sudoeste mineiro (2021), em cooperação com Markestrat, FEA-RP/USP e FCAV/Unesp, a estimativa da safra de laranja 2021/22 do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro é de 294,17 milhões de caixas de 40,8kg cada, totalizando 12 milhões de toneladas. E quando comparada à safra anterior (2020/21), que foi de 268,63 milhões de caixas, totalizando 11 milhões de toneladas; a projeção atual aponta um aumento de 9,51%. Entretanto, ainda há queda na média das últimas dez safras em, aproximadamente,

35 milhões de caixas, o que representa uma diminuição de 10,53%.

Os sucos em geral são definidos pelo art. 18 do Decreto nº 6.871 de 2009 como sendo bebidas não fermentadas, não concentradas e não diluídas, destinadas ao consumo, obtidas da fruta madura e sã, ou parte do vegetal de origem, por processamento tecnológico adequado, submetida à tratamento que assegure a sua apresentação e conservação até o momento do consumo (BRASIL, 2009). Em relação ao suco de laranja, os processamentos tecnológicos mais habituais são pasteurização e esterilização. A primeira utiliza temperaturas mais brandas e, portanto, não há destruição dos microrganismos deteriorantes e há necessidade de o produto ser armazenado e vendido sob refrigeração. Enquanto a esterilização utiliza temperaturas mais altas que a pasteurização ocasionando uma maior destruição de microrganismos, possibilitando a conservação em temperatura ambiente (FORC, s. d.).

O processamento da laranja até a comercialização do seu suco envolve uma série de operações industriais, quais sejam: recepção e pré-seleção das frutas; armazenamento; lavagem e classificação; extração; filtração e centrifugação; pasteurização; envase e armazenamento. Ao receber, pré-selecionar, lavar e classificar as laranjas, têm-se perdas devido ao descarte de frutas não conformes, podres ou com danos visíveis. Durante a extração, a cada 100kg da fruta, obtém-se 44,81kg de suco, ou seja, os 55,19kg restantes são resíduos. A filtração e a centrifugação geram rejeitos sólidos como sementes e excesso de polpa. E o envase pode contribuir com o descarte de embalagens defeituosas; as demais etapas não originam resíduos explícitos como nas citadas anteriormente, mas ainda assim impactam significativamente o meio, em função do uso de energia elétrica, uso de água, produção de efluentes líquidos, emissões atmosféricas (materiais particulados,

gases de queima de combustível e emissões odoríferas) e produção de energias térmica, sonora e vibratória (YAMANAKA, 2005; TETRA PAK, 2018).

Diante desses impactos causados na produção do suco, é necessário compreender a abordagem de desenvolvimento sustentável adotada pela Agenda 21 Brasileira, que apresenta como um dos seus objetivos principais a agricultura sustentável (PEREIRA, 2008). Por essa razão, vários autores têm estudado e discutido a sustentabilidade da atividade agrícola, buscando uma forma adequada e exequível de avaliá-la. Entretanto, a definição de sustentabilidade agrícola, bem com sua avaliação, é difícil e complexa, pois, como dependem de condições locais, as práticas de manejo sustentáveis variam de região para região. Porém, diversos indicadores têm sido utilizados para a avaliação do desempenho ambiental agrícolas, incluindo análises físico-químicas, como qualidade do solo e da água, que indicam o estado geral do sistema; medidas de desempenho, como intensidade de uso de fertilizantes e de pesticidas; manejo agrícola, uso e ocupação do solo; consumo energético e de recursos naturais como a biodiversidade, porcentagem de recursos renováveis utilizados, entre outros (PEREIRA, 2008).

Os indicadores fornecem uma visão ampliada do desempenho ambiental, porém, para uma análise de todo o impacto causado pelo uso do produto de origem agrícola, deve-se incluir toda a cadeia produtiva, desde a produção dos insumos agrícolas até o consumo final; ou seja, avaliar todo o ciclo de vida do produto, sendo que os indicadores adotados também devem ser capazes de avaliar, além da etapa agrícola propriamente dita, todas as etapas envolvidas na produção e consumo do produto avaliado, incluindo transportes, pré-processamentos, processamentos, produção dos insumos e suas embalagens, tratamento de resíduos, etc. (PEREIRA, 2008). Essa

abordagem ampliada da sustentabilidade de produtos agrícolas pode ser realizada a partir da utilização da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).

Com a intenção de contabilizar o impacto ambiental potencial, em relação às entradas e saídas durante o ciclo de vida de um produto ou atividade, utiliza-se a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Tal ciclo tem início na extração dos recursos naturais - como água, minérios, florestas, petróleo, entre outros - para a fabricação do produto ou desenvolvimento da atividade, e tem seu fim ao ser descartado e devolvido à natureza - gerando resíduos (frutas descartadas, polpa e bagaço), subprodutos (ração animal, D-Limoneno, pectina, biogás, etanol, óleos essenciais e farelo de polpa cítrica) e emissões (vapores e gás de efeito estufa) para a água, terra e ar (SUZUKI, 2019). Além disso, por meio da ACV, é possível constatar quais pontos críticos do processo têm maior contribuição para o impacto ambiental, bem como a implantação de melhorias ou alternativas para o caso estudado (MOURAD; GARCIA; VILHENA, 2002; COLTRO, 2007).

Há quatro fases na ACV de acordo com a norma NBR ISO 14040 São elas: 1. definição de objetivo e escopo, 2. análise de inventários, 3. avaliação de impacto e 4. interpretação; e para alcançar o resultado desejado é necessário o desenvolvimento correto de cada fase e a harmonização entre elas. A primeira fase é destinada ao planejamento do estudo - fronteiras, objetivo claro e finalidade dos resultados; durante a segunda fase faz-se o levantamento, compilação e quantificação das entradas e saídas dos recursos utilizados. Na terceira fase, analisa-se a intensidade e o significado dos resultados, classificando, caracterizando e ponderando-os e por fim, na quarta fase, relaciona-se os resultados aos objetivos do escopo para se obter conclusões e tomar medidas cabíveis (MOURAD; GARCIA; VILHENA, 2002).

A avaliação e planejamento permitem que o desenvolvimento econômico e ações benéficas ao meio ambiente avancem concomitantemente e, como os resíduos originados no beneficiamento da laranja correspondem de 50% a 60% da massa inicial da fruta *in natura* (JOHN; MUTHUKUMAR; ARUNAGIRI, 2017; PUTNIK, KOVAČEVIĆ, JAMBRAK; BARBA, 2017; ZANATTA, 2017), é necessário realizar um estudo no cenário da indústria de suco de laranja, abordando as diversas rotas de aproveitamento dos resíduos gerados, incluindo simultaneamente critérios técnico-econômicos e ambientais, avaliando-se, assim, alternativas de processo de maneira sistemática, levando em consideração a minimização de impactos ambientais associados a cada alternativa possível de valorização dos resíduos ao mesmo tempo em que promovam desempenho financeiro satisfatório, criando também novas oportunidades e vantagens competitivas, associando a imagem da companhia à consciência ecológica (ZANATTA, 2017). Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar, através da metodologia de avaliação de ciclo de vida, os impactos ambientais da fabricação de SLIP, com e sem a consideração da sua fase agrícola.

Material e Métodos

A pesquisa aqui apresentada pode ser classificada como de natureza – aplicada, concentrando-se na elaboração de diagnósticos, identificação de problemas e busca de soluções (FLEURY; DA COSTA WERLANG, 2017; THIOLENT, 2009); de abordagem do problema – qualitativa propondo melhorias ao sistema produtivo e quantitativa através de números de dados do ciclo de vida da produção do SLIP (Suco de laranja integral pasteurizado); de objetivos – descritiva, pelo fato de conseguir descrever

as características ambientais e/ou produtivas de um SLIP; e de métodos técnicos - estudo de caso, que é considerado o método mais adequado para se estudar um fenômeno atual dentro de um contexto real (YIN, 2001), reunindo informações detalhadas e sistemáticas (PATTON, 2002), ajudando o entendimento do contexto, sem esquecer da representatividade (LLEWELLYN; NORTHCOTT, 2007), centrando-se na compreensão da dinâmica do contexto real (EISENHARDT, 1989) permitindo o seu amplo e detalhado conhecimento sobre o assunto estudado (GIL, 2007).

Para a metodologia empregada neste trabalho conseguir determinar possíveis melhorias ambientais na produção do SLIP, primeiramente foi necessário fazer o estudo da Avaliação do seu Ciclo de Vida (ACV do SLIP). Para a condução deste trabalho foram adotadas as normas ISO 14040 e 14044 (ABNT, 2009a, ABNT 2009b) que estabelecem as diretrizes para se conduzir e aplicar um estudo de ciclo de vida. Assim a realização da ACV ocorreu durante suas quatro fases, sendo elas: 1ª Fase: Definição de Objetivo e Escopo, 2ª Fase: Análise de Inventário do Ciclo de Vida, 3ª Fase: Avaliação de Impactos e por final 4ª Fase: Interpretação.

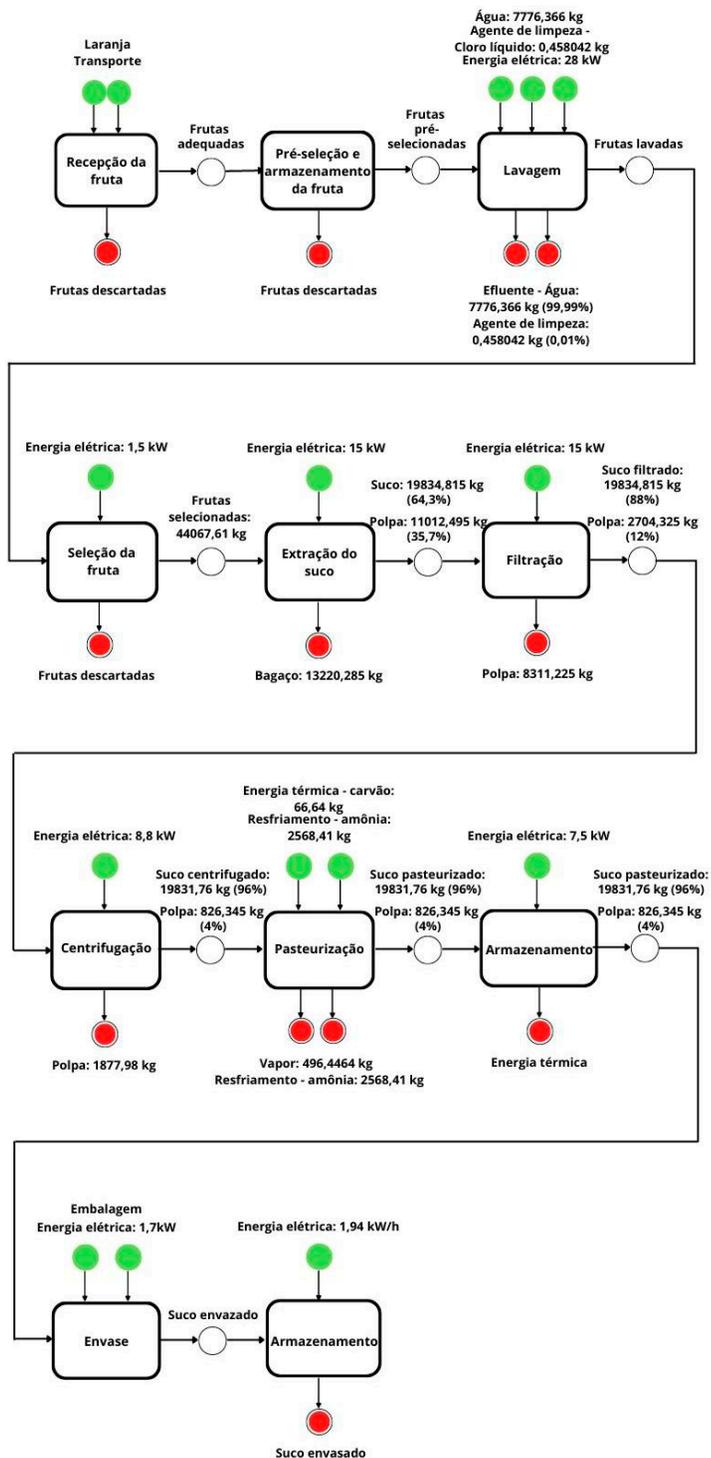
Todos os dados obtidos nas fases 1, 2 e 3 foram alimentados e modelados no *Software SimaPro v.9.1* (com interatividade com a Base de Dados de Inventários do Ciclo de Vida Ecoinvent v.3.2), que utilizando o método de avaliação ReCiPe 2016 Midpoint (H), mostrou o real cenário ambiental da produção e/ou produto SLIP. Os impactos potenciais totais observados foram: o impacto de mudança climática, depleção do ozônio, depleção do metal, acidificação terrestre, eutrofização aquática (água doce), eutrofização aquática (marinha), toxicidade humana, formação de oxidantes fotoquímicos, formação de matéria particulada e ecotoxicidade terrestre.

Para que a modelagem pudesse ser executada, algumas premissas foram levadas em conta:

- Foi considerada para a avaliação de ciclo de vida a produção do SLIP do berço (fazenda – desde a extração dos recursos naturais) ao portão da empresa, ou seja, antes do produto pronto (SLIP embalado em garrafas de 1l) ser transportado para o consumidor. A fase de utilização e fase de eliminação do produto serão omitidas nesse caso.
- A unidade funcional foi definida como um litro de SLIP em garrafa PET de 1,0 l, produzido no estado de São Paulo.
- O inventário do ciclo de vida da produção de SLIP abrangeu toda a cadeia produtiva. A primeira etapa foi o cultivo das laranjas, que foram transportadas diretamente para a planta de processamento do suco, chegando até o envase.
- Na unidade de processamento de SLIP há produção de coprodutos, como ração animal, óleos essenciais e D-Limoneno. O processamento posterior desses coprodutos, a princípio, foram considerados na fronteira do estudo.
- A infraestrutura da empresa não foi considerada no inventário.
- A gestão de resíduos foi contabilizada no estudo de ACV.
- Os processos de reciclagem não estavam incluídos (abordagem de corte).
- Os dados de eletricidade (de baixa tensão) e água filtrada utilizados no inventário foram os brasileiros.

Considerando as premissas citadas anteriormente e objetivando-se a ACV da produção do SLIP, foi elaborado um fluxograma desde o recebimento da matéria-prima até o armazenamento do produto finalizado (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma da análise de ACV da produção do SLIP.



Resultados e Discussão

A interpretação dos resultados referentes à avaliação de ciclo de vida de SLIP foi realizada de duas formas diferentes, sendo uma desconsiderando a fase agrícola (Figura 2) e a outra contabilizando a fase agrícola (Figura 3).

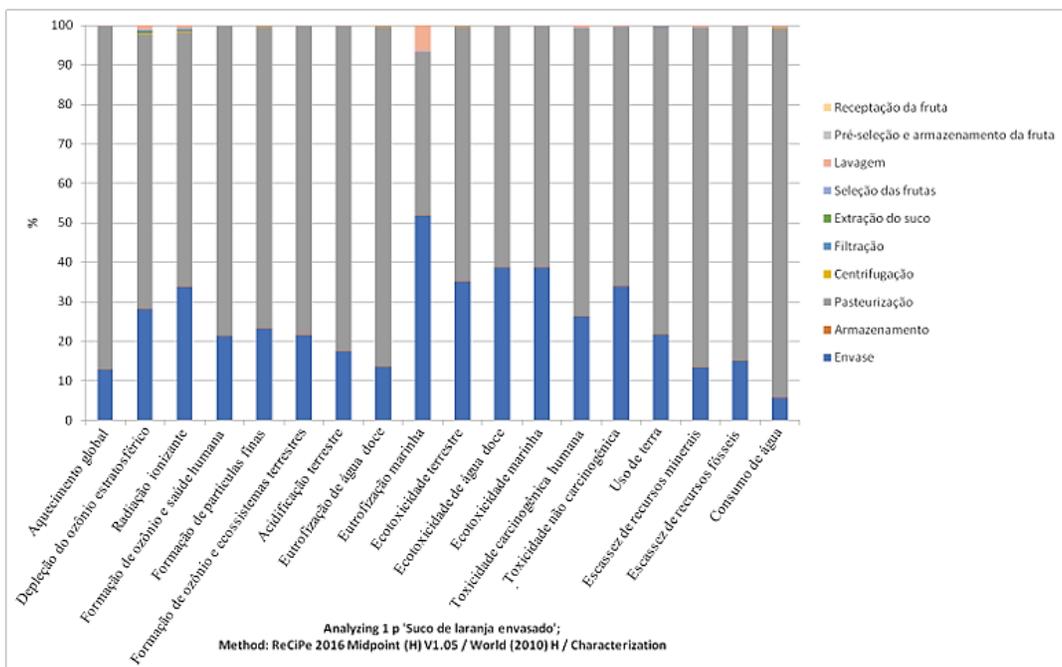
Os processos mais significativos para os impactos ambientais de modo geral foram a pasteurização e o envase, sendo descritos abaixo para cada impacto:

- Aquecimento global: a participação foi de 86,88% da pasteurização e 12,97% do envase, e o 0,15% restante é dividido em armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
- Depleção do ozônio estratosférico: a contribuição da pasteurização é de 69,32%,

do envase é de 28,31%, da lavagem é de 1,10% e o restante 1,27% é distribuído entre o armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco e seleção das frutas.

- Radiação ionizante: a pasteurização representa 64,27%, já o envase 33,93%, a lavagem 0,75%, e o 1,05% remanescente representa o armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco e seleção das frutas.
- Formação de ozônio e saúde humana: a colaboração da pasteurização foi de 78,24%, do envase foi de 21,53% e o 0,23% restante é dividido em armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
- Formação de partículas finas: a pasteurização responde por 76,36%, o envase 23,31% e o 0,33% remanescente é constituído pelo armazenamento, centrifugação,

Figura 2. Análise de contribuição dos impactos da produção de 1,0 l de SLIP desconsiderando a fase agrícola.



- filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
- Formação de ozônio e ecossistemas terrestres: o percentual de 78,13% corresponde à pasteurização, 21,62% correspondem ao envase e o excedente de 0,25% corresponde ao armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
 - Acidificação terrestre: a contribuição da pasteurização foi de 82,10%, do envase foi de 17,61% e o 0,29% remanescente é contribuição do armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
 - Eutrofização de água doce: a pasteurização representa 86,14%, o envase 13,56% e o restante 0,30% é representado pelo armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
 - Eutrofização marinha: é constituído por 51,86% do envase, 41,43% da pasteurização, 6,54% da lavagem e o 0,17% remanescente é dividido em armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco e seleção das frutas.
 - Ecotoxicidade terrestre: o percentual de 64,42% corresponde à pasteurização, 35,30% ao envase e o restante 0,28% corresponde ao armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
 - Ecotoxicidade de água doce: a colaboração da pasteurização foi de 60,93%, do envase foi de 38,82% e o 0,25% final é colaboração do armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
 - Ecotoxicidade marinha: a pasteurização representa 60,95%, o envase 38,80% e o 0,25% remanescente representa o armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
 - Toxicidade carcinogênica humana: é constituído por 72,92% da pasteurização, 26,37% do envase e o 0,71% final é constituído por armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
 - Toxicidade não carcinogênica humana: a pasteurização corresponde o percentual de 65,67% e o envase de 34,03%, já os 0,3% restantes são distribuídos entre armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
 - Uso de terra: 77,86% é a representação da pasteurização nesse fator, e o envase tem uma contribuição de 21,77%, sendo os 0,37% representados pelo armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
 - Escassez de recursos minerais: a pasteurização apresenta uma participação de 86,00%, o envase de 13,44%, a lavagem de 0,52% e o percentual restante de 0,04% é partilhado entre o armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco e seleção das frutas.
 - Escassez de recursos fósseis: o percentual de 84,72% representa a pasteurização e o envase contribui com um percentual de 15,14%, já os 0,14% estão subdivididos nas etapas de armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
 - Consumo de água: a pasteurização tem uma participação de 93,39%, já o envase tem 5,83%, sendo os 0,78% restantes distribuídos entre armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.

Como pode ser observado acima as etapas mais expressivas foram a de pasteurização e envase; a primeira é pelo fato de haver desprendimento de vapor e emissão de vo-

lâteis e óleos essenciais, no caso da segunda, contabiliza-se desde a extração do petróleo até a fabricação da embalagem PET utilizada

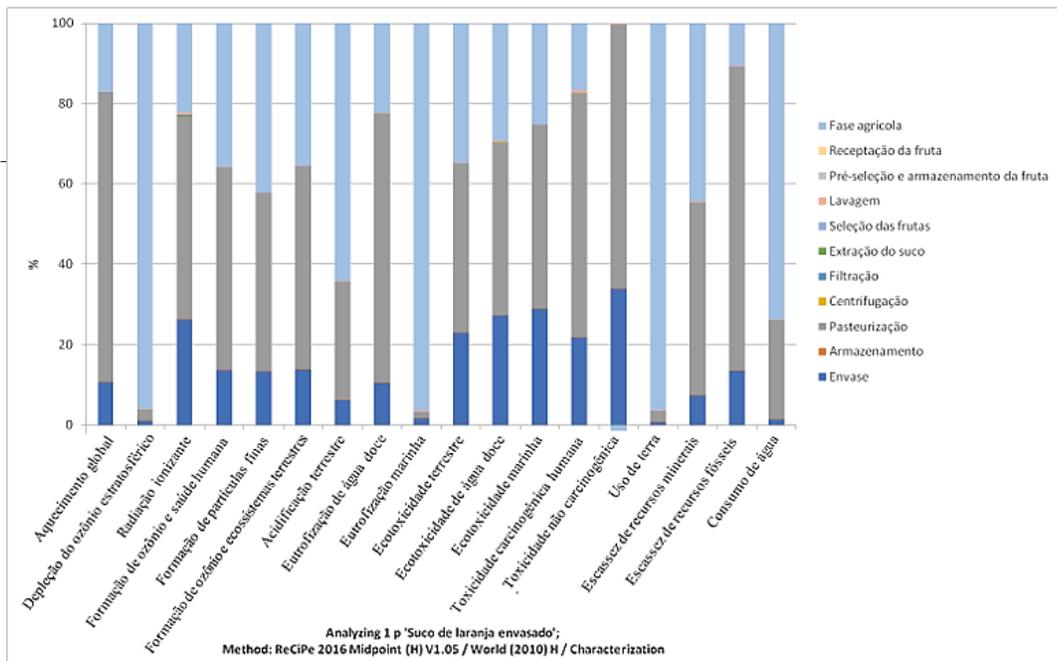
Ao levar em consideração a fase agrícola (Figura 3), os fatores que mais são afetados são a depleção do ozônio estratosféricos, a eutrofização marinha e o uso de terra; enquanto os fatores de acidificação terrestres e consumo de água são menos afetados se comparados aos citados anteriormente; já os fatores de aquecimento global, radiação ionizante, eutrofização de água doce, toxicidade carcinogênica humana e escassez de recursos fósseis são menos afetados; sendo descritos abaixo:

- Aquecimento global: a participação da pasteurização foi de 86,88% sem considerar a fase agrícola, no entanto com a fase agrícola, a porcentagem caiu para 72,05%. Já o

envase, antes representando 12,97%, com a fase agrícola, a porcentagem caiu para 10,75%; assim a fase agrícola representa 17,07%. E o 0,13% final é representado pelo armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.

- Depleção do ozônio estratosférico: a contribuição da pasteurização foi de 69,32%, sem a fase agrícola e com ela decaiu para 2,81%; no caso do envase, o percentual foi de 28,31% sem a fase agrícola, caindo para 1,15% com a fase. Desse modo, a fase agrícola representa 95,95% e o restante 0,09% é distribuído entre o armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
- Radiação ionizante: a pasteurização representava 64,27%, desconsiderando a fase agrícola, e ao considerá-la, o percentual cai para 50,04%; quanto ao envase, antes

Figura 3. Análise de contribuição dos impactos da produção de 1,0 l de suco de laranja integral pasteurizado considerando a fase agrícola.



33,93% sem a fase agrícola, reduziu para 26,41%. Logo, a fase agrícola apresenta o percentual de 22,15% e o 1,40% remanescente representa o armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.

- Formação de ozônio e saúde humana: a colaboração da pasteurização foi de 78,24%, sem considerar a fase agrícola, e ao considerá-la, o percentual diminuiu para 50,30%, no caso do envase, que representava 21,53%, com a fase agrícola caiu para 13,84%. A fase agrícola corresponde a 35,71% e o 0,15% restante é dividido em armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
- Formação de partículas finas: era constituída por 76,36% da pasteurização sem a fase agrícola e com ela, o percentual diminuiu para 44,23%; quanto ao envase, antes com o percentual de 23,31%, com a fase agrícola tal valor baixou para 13,50%. Assim, a fase agrícola representa o percentual de 42,08% e o 0,19% remanescente é constituído pelo armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
- Formação de ozônio e ecossistemas terrestres: o percentual de 78,13% correspondia à pasteurização desconsiderando a fase agrícola, e ao considerá-la, o valor caiu para 50,53%; já o envase que correspondia a 21,62%, baixou para 13,98% com a fase agrícola. Sendo assim, a fase agrícola corresponde a 35,33% e o excedente 0,16% corresponde ao armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
- Acidificação terrestre: a contribuição da pasteurização foi de 82,10% sem considerar a fase agrícola, e com ela o percentual desceu para 29,43%; quanto ao envase, que foi de 17,61%, com a fase agrícola passou a ser de 6,31%. Logo, a fase agrícola representa o percentual de 64,16% e o 0,10% remanescente é contribuição do armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
- Eutrofização de água doce: a pasteurização representava 86,14% desconsiderando a fase agrícola, e com ela, o valor baixou para 67,06%; e o envase, que representava 13,56%, com a fase agrícola, passou a representar 10,56%. Assim, a fase agrícola representa 22,15% e o restante 0,23% é representado pelo armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
- Eutrofização marinha: era constituído por 51,86% do envase desconsiderando a fase agrícola, e ao considerá-la, o valor passou a ser 1,88%; quanto à pasteurização, que era de 41,43%, passou a ser 1,50% com a fase agrícola. Dessa maneira, a fase agrícola apresenta o percentual de 96,38% e o 0,24% remanescente é dividido em armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
- Ecotoxicidade terrestre: o percentual de 64,42% que correspondia à pasteurização, passou a ser de 42,07% ao se considerar a fase agrícola; quanto ao envase, que correspondia a 35,30%, passou a ser 23,06% com a fase agrícola. Logo, a fase agrícola representa o valor de 34,69% e o restante 0,18% corresponde ao armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
- Ecotoxicidade de água doce: a colaboração da pasteurização foi de 60,93% sem considerar a fase agrícola e ao considerá-la, o percentual desceu para 43,10%; no caso do envase, o percentual era de 38,82% e passou a ser 27,46%. Quanto à fase agrícola, o percentual foi de 29,27% e o 0,17%

- final é colaboração do armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
- Ecotoxicidade marinha: a pasteurização representava 60,95% e o envase 38,80%, desconsiderando a fase agrícola; e ao considerá-la os novos valores foram 45,63% e 29,05%, respectivamente. E a fase agrícola representa 25,13% e o 0,19% remanescente representa o armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
 - Toxicidade carcinogênica humana: é constituído por 72,92% da pasteurização e 26,37% do envase sem considerar a fase agrícola. Porém, ao considerar a fase agrícola nessas etapas, o percentual decresce para 60,70% na pasteurização e 21,95% no envase, sendo dessa forma, uma participação de 16,76% da fase agrícola. Os 0,59% finais são constituídos por armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
 - Toxicidade não carcinogênica humana: a pasteurização corresponde o percentual de 65,67% e o envase de 34,03%, sem a contabilização da fase agrícola, já com a contabilização esses percentuais não apresentaram diferença, pois a fase agrícola corresponde a -1% [15]. Já os 0,3% restantes são distribuídos entre armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
 - Uso de terra: 77,86% é a representação da pasteurização nesse fator sem considerar a fase agrícola, já a considerando esse valor cai para 2,82%; e o envase que tem uma contribuição de 21,77% sem a fase agrícola, cai para 0,79% com a fase agrícola. Portanto a fase agrícola representa 96,38%, sendo os 0,01% representados pelo armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
 - Escassez de recursos minerais: a pasteurização apresenta uma participação de 86,00%, o envase de 13,44%, a lavagem de 0,52%, quando não computada a fase agrícola, pois quando esta é contabilizada há a diminuição dessas participações, resultando em 47,93% na pasteurização, 7,49% no envase e 0,29% na lavagem, sendo a maior participação da fase agrícola de 44,27%. O percentual restante de 0,02% é partilhado entre o armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco e seleção das frutas.
 - Escassez de recursos fósseis: o percentual de 84,72% representa a pasteurização e o envase contribui com um percentual de 15,14%, sem contabilizar a fase agrícola nessas etapas, pois quando contabilizada os percentuais da pasteurização e envase diminuem para um valor de 75,81% e 13,55% respectivamente. Assim, a fase agrícola representa 10,52% de participação. Já os 0,12% estão subdivididos nas etapas de armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
 - Consumo de água: a pasteurização tem uma participação de 93,39% sem contabilizar a fase agrícola, porém com a fase agrícola essa participação decresceu para 24,60%. Já o envase tem 5,83% sem a fase agrícola e com a fase agrícola apresenta um percentual de 1,54%, sendo assim, a fase agrícola constitui 73,66%. Os 0,20% restantes são distribuídos entre armazenamento, centrifugação, filtração, extração do suco, seleção das frutas e lavagem.
- Após a descrição dos fatores é notável a grande diferença da participação da fase agrícola no processo, assim como foi também descrito pelos estudos de Pereira (2008), com objetivo similar ao deste trabalho, também obtendo como resultado um grande impacto

ambiental ao incluir a fase agrícola. Pereira (2008), após estudar aspectos como: o uso de terra, perda de solo, consumo de combustível fóssil, consumo de água, emissão de gases, entre outros; afirma que a etapa agrícola aumenta a utilização de recursos naturais e é a com maior consumo de fluxos energéticos, causando repercussões significativas em toda a cadeia produtiva, em relação aos fatores ambientais.

Vale ressaltar que os resultados aqui apresentados foram mais significativos quanto ao uso de terra, depleção do ozônio estratosférico e eutrofização marinha, por possuírem grande participação nos efeitos ambientais entre todos os outros fatores estudados.

ambientais e em um primeiro momento desconsiderando a fase agrícola, as etapas mais críticas foram a pasteurização e o envase do produto, além de uma contribuição relevante da lavagem no fator de eutrofização marinha. Enquanto ao incluir a fase agrícola no processo de produção do suco, houve uma participação nos aspectos ambientais analisados.

No entanto, pode-se destacar os fatores de depleção do ozônio estratosférico, eutrofização marinha e uso de terra; que antes eram dominadas pela pasteurização e envase passaram a ser submetidos à fase agrícola, quando essa foi incluída no processo de produção. Assim, é possível concluir que a fase agrícola é a mais expressiva, seguida da pasteurização e envase.

Conclusão

Visto que se utilizou o ACV para analisar todas as etapas do processo de produção de suco de laranja e cada um dos fatores

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Decreto nº 6871, de 04 de junho de 2009**. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Brasília, 04 jun. 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm. Acesso em: 10 jun. 2021.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 37, de 01 de outubro de 2018**. Brasília, 08 out. 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/44304943/do1-2018-10-08-instrucao-normativa-n-37-de-1-de-outubro-de-2018-44304612. Acesso em: 10 jun. 2021.

CITRUSBR. **Exportações de suco de laranja fecham safra em alta**. 2020. Disponível em: <https://citrusbr.com/noticias/exportacoes-de-suco-de-laranja-fecham-safra-em-alta/>. Acesso em: 20 jun. 2021.

CITRUSBR. **Qual é o suco que o mundo quer?** 2017. Disponível em: https://citrusbr.com/biblioteca/revista-citrusbr/#dearflip-df_504/9/. Acesso em: 10 jun. 2021.

COLTRO, L. (org.). **Avaliação do Ciclo de Vida com Instrumento de Gestão**. Campinas: Catea/Ital, 2007. 75 p. Disponível em: <https://docplayer.com.br/9491054-Avaliacao-do-ciclo-de-vida-como-instrumento-de-gestao-organizado-por-leda-coltro.html>. Acesso em: 15 jun. 2021.

- EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research. **Academy Of Management Review**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 532-550, out. 1989. Academy of Management. <http://dx.doi.org/10.5465/amr.1989.4308385>. Disponível em: <https://journals.aom.org/doi/10.5465/amr.1989.4308385>. Acesso em: 06 jun. 2021.
- FAO. ROMA. **Fruit and Vegetables: your dietary essentials**. International Year of Fruits and Vegetables. 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/3/cb2395en/cb2395en.pdf>. Acesso em: 01 set. 2021.
- FLEURY, M. T. L.; DA COSTA WERLANG, S. R. Pesquisa aplicada: conceitos e abordagens. Anuário de Pesquisa GVPesquisa, 2017. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/apgvpesquisa/article/view/72796>. Acesso em: 06 jun. 2021.
- FORC. **Informação muda percepção de consumidores sobre o suco de laranja industrializado**. [S. D.] Disponível em: <https://alimentossemmitos.com.br/informacao-muda-percepcao-de-consumidores-sobre-suco-de-laranja-industrializado>. Acesso em: 16 jun. 2021.
- GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 208 p.
- IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: estatística da produção agrícola**. [S. L.]: IBGE, 2021. 99 p. Disponível em: [https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2021/estProdAgri_202107.pdf](https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2021/estProdAgri_202107.pdf). Acesso em: 26 ago. 2021.
- INVENTÁRIO DE ÁRVORES DO CINTURÃO CITRÍCOLA DE SÃO PAULO E TRIÂNGULO/SUDOESTE MINEIRO**. Araraquara: Fundecitrus, 2021. Disponível em: https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/2021_07_30_Inventario_e_Estimativa_do_Cinturao_Citricola_2021-2022.pdf. Acesso em: 27 ago. 2021.
- JOHN, I.; MUTHUKUMAR, K.; ARUNAGIRI, A. A review on the potential of citrus waste for D-Limonene, pectin, and bioethanol production. **International Journal Of Green Energy**, [S.L.], v. 14, n. 7, p. 599-612, 16 maio 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317053396_A_review_on_the_potential_of_citrus_waste_for_D_-Limonene_pectin_and_bioethanol_production. Acesso em: 16 jun. 2021.
- LLEWELLYN, S.; NORTHCOTT, D. The “singular view” in management case studies. **Qualitative Research In Organizations And Management: An International Journal**, [S.L.], v. 2, n. 3, p. 194-207, 20 nov. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/242339363_The_singular_view_in_management_case_studies. Acesso em: 05 jun. 2021.
- MALISZEWSKI, E. **Citricultura brasileira é uma das mais importantes do mundo**. 2021. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/citricultura-brasileira-e-uma-das-mais-importantes-do-mundo_451256.html. Acesso em: 14 jun. 2021.
- MOURAD, A. L.; GARCIA, E. C.; VILHENA, A. **Avaliação do ciclo de vida: princípios e aplicações**. Campinas: Cetea/Cempre, 2002. 93 p. Disponível em: https://www.academia.edu/35535362/Princ%C3%ADpios_e_Aplica%C3%A7%C3%B5es_AVALIA%C3%87%C3%83O_AVALIA%C3%87%C3%83O_DO_CICLO_DO_CICLO_DE_VIDA_DE_VIDA. Acesso em: 15 jun. 2021.
- NETTO, I. **Estoques de suco de laranja em 30 de junho de 2021**. 2021. Disponível em: <https://citrusbr.com/noticias/comunicado-ao-mercado-estoques-de-suco-de-laranja-em-30-de-junho-de-2021/>. Acesso em: 01 jul. 2021.
- PATTON, M. Q. **Qualitative research and evaluation methods**. 3. ed. California: Sage Publications, 2002. 598 p.
- PEREIRA, C. de L. F. **Avaliação de sustentabilidade ampliada de produtos agroindustriais**. Estudo de caso: suco de laranja e etanol. 2008. 290 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de

Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Disponível em: <https://www.unicamp.br/fea/ortega/extensao/Tese-ConsueloPereira.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2022.

PUTNIK, P.; KOVAČEVIĆ, D. B.; JAMBRAK, A. R.; BARBA, F. J. Innovative “Green” and Novel Strategies for the Extraction of Bioactive Added Value Compounds from Citrus Wastes—A Review. *Molecules*, [S.L.], v. 22, n. 5, p. 680, 27 abr. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules22050680>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/316243997_Innovative_green_and_novel_strategies_for_extraction_of_bioactive_added_value_compounds_from_citrus_wastes-_A_review. Acesso em: 18 jun. 2021.

SUZUKI, L. L. Análise técnico-econômico e ambiental de processos de valorização do resíduo da indústria de suco de laranja. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química São Paulo, 2019. 81 p. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-28112019-141114/fr.php>. Acesso em: 31 de jan. 2022.

TETRA PAK. **Orange Book**. 2018. Disponível em: <https://orangebook.tetrapak.com/>. Acesso em: 15 jun. 2021.

THIOLLENT, M. **Metodologia de Pesquisa-ação**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 164 p.

USDA. **Citrus: world markets and trade**. [S. L.]: USDA, 2021. 13 p. Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Disponível em: <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/w66343603/b8516k98g/2514ph35q/citrus.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2021.

VIEIRA, S. **Sem isolamento para a laranja brasileira**. 2020. Disponível em: <https://www.dinheirorural.com.br/sem-isolamento-para-a-laranja-brasileira/>. Acesso em: 16 jun. 2021.

WHITAKER, P. **Produção global de laranja em 2020/21 deve aumentar 5,5%**. 2021. Disponível em: <https://www.brasilagro.com.br/conteudo/producao-global-de-laranja-em-202021-deve-aumentar-55.html>. Acesso em: 31 ago. 2021.

YAMANAKA, H. T. **Sucos cítricos**. 21. ed. São Paulo: Cetesb, 2005. 45 p. (P + L). Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/sucos_citricos.pdf. Acesso em: 31 ago. 2021.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 212 p. Tradução de: Daniel Grassi. Disponível em: https://saudeglobaldotorg1.files.wordpress.com/2014/02/yin-metodologia_da_pesquisa_estudo_de_caso_yin.pdf. Acesso em: 04 jun. 2021.

ZANATTA, P. GESTÃO AMBIENTAL E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 296-312, 9 nov. 2017. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v6e32017296-312>. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/5567. Acesso em: 20 jun. 2021.