

Revisão sistemática do gerenciamento coletivo de resíduos sólidos industriais com unidade de compostagem associada ao processamento do tabaco

Systematic review of the collective management of industrial solid waste with composting unit associated with tobacco processing

Fausto Lopes Duarte Müller¹ , Adilson Moacir Becker Júnior¹ ,
Jorge André Ribas Moraes¹ , Ênio Leandro Machado^{1*} 

RESUMO

O gerenciamento coletivo de resíduos sólidos industriais é uma alternativa que visa à redução de custos e à centralização de atendimento a requisitos legais. Para unir esforços na gestão de tal tipo de resíduo, conglomerados industriais têm se instalado em distritos onde desenvolvem suas atividades e gerenciam seus resíduos de forma coletiva, numa espécie de simbiose que traz benefícios ambientais e econômicos. Este artigo teve como objetivo realizar uma revisão sistemática sobre alguns aglomerados industriais brasileiros e o gerenciamento coletivo de seus resíduos, utilizando como estudo de caso uma central de resíduos industriais localizada no sul do Brasil. Na revisão, foram pesquisados publicações e autores referência mediante duas combinações de expressões-chave: "Avaliação de Ciclo de Vida + Simbiose Industrial" e "Gerenciamento de Resíduos + Indústria do Tabaco". O primeiro tema apresentou-se mais atual, com maior quantidade de publicações oriundas do continente europeu. O segundo tema foi mais constante, sem grandes variações no número de publicações, destacando-se os Estados Unidos como a origem dos autores referência. As conclusões apontam para a tendência de expansão dos estudos acerca de avaliação do ciclo de vida e a consolidação do conceito de simbiose industrial. Com relação à gestão de resíduos da indústria do tabaco, a abordagem foca nos malefícios do cigarro à saúde e no problema dos resíduos pós-consumo (bitucas).

Palavras-chave: revisão sistemática; gestão de resíduos; avaliação do ciclo de vida; simbiose industrial; indústria do tabaco.

ABSTRACT

Collective management of industrial solid waste (ISW) is an alternative that aims to reduce costs and centralize compliance with legal requirements. To unite efforts in the management of ISW, industrial conglomerates have been installed in districts where they develop their activities and manage their waste collectively, in a kind of symbiosis that brings environmental and economic benefits. This article aimed to carry out a systematic review on some Brazilian industrial clusters and the collective management of their waste, using as a case study an Industrial Waste Center located in southern Brazil. Publications and reference authors were searched using two combinations of key expressions: "Life Cycle Assessment + Industrial Symbiosis" and "Waste Management + Tobacco Industry". The first theme was more current, with a greater number of publications from the European continent. The latter is more constant, without major variations in the number of publications, highlighting the United States as the origin of the reference authors. Conclusions point to a trend toward expansion of studies on Life Cycle Assessment (LCA) and the consolidation of the concept of industrial symbiosis. Regarding the management of waste from the tobacco industry, the approach focuses on the harmful effects of cigarettes on health and the problem of post-consumption waste (butts).

Keywords: systematic review; waste management; life cycle assessment; industrial symbiosis; tobacco industry.

¹Universidade de Santa Cruz do Sul – Santa Cruz (RS), Brasil.

*Autor correspondente: enio@unisc.br

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Financiamento: nenhum.

Recebido: 14/05/2021 – Aceito: 02/05/2022 – Reg. ABES: 20210128

INTRODUÇÃO

O gerenciamento de resíduos sólidos industriais (RSI) é um desafio que exige cada vez mais atenção das organizações, seja no intuito de atender aos requisitos da legislação atual, seja nos investimentos significativos que a área ambiental demanda, seja em ações socioambientais nas comunidades em que se inserem. As dificuldades são ainda maiores quando as indústrias trabalham sozinhas nessa gestão, arcando com os custos legais, logísticos e de tratamento dos resíduos por elas gerados.

Em um país de proporções continentais como o Brasil, as dificuldades para a aplicação da correta gestão de RSI são ainda maiores. A distância entre os grandes centros, em que as tecnologias mais avançadas se encontram mais consolidadas, e os extremos do país implica custos maiores e uma cadeia mais extensa de atores envolvidos, tornando mais complexa a consolidação de ações como, por exemplo, a logística reversa (SILVA; FONTANA, 2021). Os custos com transporte são bastante elevados, em caso de necessidade de destinação dos RSI para tratamento externo. Para otimizar as operações de transporte, deve-se consolidar maior volume para as cargas, e muitas empresas não dispõem de espaço físico em suas áreas para o adequado armazenamento temporário dos resíduos. No entanto, antes de qualquer ação remediadora, as indústrias devem focar em *ecodesign* de produtos, ecoeficiência de processos, redução da geração de resíduos e, se ainda assim ocorrer desperdício de recursos, buscar sempre alternativas de reciclagem (SELLITTO; ALMEIDA, 2019).

O gerenciamento integrado de RSI surge como alternativa viável no sentido da diluição de custos e centralização do atendimento a requisitos legais, além de ser adaptável às características e necessidades das partes interessadas (KHALILI; EHRlich; DIA-EDDINE, 2013). Na região central do Rio Grande do Sul, extremo sul do Brasil, existe uma central que tem a responsabilidade de gerenciar coletivamente os resíduos gerados por algumas das maiores indústrias locais, buscando soluções economicamente viáveis e ambientalmente corretas. Os conceitos de simbiose industrial ou ecoparque industrial, ferramentas da ecologia industrial (TREVISAN *et al.*, 2016), enquadram-se de forma bastante apropriada neste estudo de caso, já que esse grupo de indústrias coopera entre si compartilhando conhecimento e recursos em prol do objetivo comum de promover o desenvolvimento sustentável.

O fornecimento de certificação ambiental é um fator importante para os processos de auditoria nas empresas geradoras, e a não disposição de resíduos em aterros evita a geração de um passivo ambiental, transmitindo à sociedade e ao mercado uma melhor imagem da organização no enfrentamento das questões ambientais (BAAH *et al.*, 2021). Além disso, a responsabilidade compartilhada pela geração de resíduos abrange todos os atores desse sistema, conforme a legislação brasileira. A disposição de RSI em aterros traz ao gerador responsabilidade perpétua e, em caso de potenciais desastres ambientais futuros, este poderá ser penalizado.

Nesse sentido, a Lei nº 12.305/2010 — Política Nacional de Resíduos Sólidos — utiliza como instrumento os inventários anuais de resíduos sólidos, e alguns dos seus objetivos são a gestão integrada de resíduos e o estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida (ACV) de processos ou produtos (BRASIL, 2010).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR ISO 14040, de 21 de maio de 2009, a ACV é uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto ou serviço, por meio de inventários de entradas e saídas de um processo, enumeração

e avaliação dos impactos ambientais inerentes a essa operação e interpretação dos resultados obtidos. Constitui uma ferramenta de suma importância para tomadas de decisão estratégicas em uma organização (ABNT, 2009).

Com base nos pilares legislativos e normativos supracitados e motivado pela escassez de dados a respeito da geração de resíduos industriais no país (MIRANDA SOBRINHO *et al.*, 2020), este artigo teve como objetivo aplicar uma revisão sistemática acerca da gestão coletiva de RSI por intermédio do estudo de caso da referida central que possui operações de recebimento, armazenamento temporário e destinação final de RSI Classe I e Classe II A Não Inertes e Classe II B Inertes e tratamento da fração orgânica dos RSI Não Perigosos Classe II B provenientes da indústria de processamento de tabaco mediante um sistema de compostagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

Após a descrição das operações desenvolvidas e da estrutura disponível, procedeu-se ao acesso ao banco de dados da central, com autorização de seus responsáveis técnicos. Os dados foram empregados na elaboração dos inventários acerca dos volumes de RSI gerenciados desde o início da operação, no ano de 2004. Cabe ressaltar que, com o significativo avanço das tecnologias de armazenamento de dados e informações, a gestão dos volumes de resíduos recebidos e destinados foi adaptada ao longo dos anos. Os dados apresentados de volume de passivos ambientais armazenados nas células de aterro foram coletados de antigas planilhas de controle. Obtiveram-se informações mais recentes, por sua vez, de relatórios de entradas de resíduos gerados por meio de um *software* de gestão de resíduos utilizado atualmente.

Foi realizado um levantamento do estado da arte acerca dos temas da pesquisa e das publicações no período entre 2000 e 2020, por causa do crescimento gradativo do número de abordagens dos temas, compreendido nos últimos 20 anos. Os resultados foram estudados visando identificar, quantificar e vincular aspectos-chave (DELLOSBEL *et al.*, 2020). Consideraram-se as tendências de pesquisa, bem como as principais referências sobre os temas tratados, identificando pesquisadores e países onde mais se publica a respeito de ACV, gerenciamento coletivo de RSI e gestão de resíduos na indústria do tabaco.

Os estudos iniciaram-se com a definição das palavras-chave, procurando-se utilizar expressões que mais se aproximassem de publicações semelhantes ao tema. Nas buscas, foi usada a base de dados Scopus, pesquisando documentos e seus respectivos títulos, resumos e palavras-chave, por meio das expressões predefinidas. Foi utilizada a configuração de busca “AND”, no intuito de ampliar a gama de resultados, pelo fato de algumas das expressões-chave aplicadas serem bastante específicas. A primeira combinação de expressões seguiu a linha do gerenciamento coletivo de RSI, com as palavras-chave “*Life Cycle Assessment*” e “*Industrial Symbiosis*”. A segunda combinação de expressões visou analisar estudos publicados com relação à gestão de resíduos da indústria do tabaco, com as palavras-chave “*Waste Management*” e “*Tobacco Industry*”.

Foi utilizado o aplicativo VOSviewer 1.6.15, ferramenta de uso livre para criar mapas com base em dados de rede, visualizá-los de forma clara e explorá-los de maneira a ser possível identificar tendências (VAN ECK; WALTMAN, 2013).

Geraram-se arquivos de texto das pesquisas realizadas com as duas combinações de palavras-chave. Os dados foram tratados, removendo-se as inconsistências e duplicidades detectadas. No aplicativo VOSviewer, optou-se pela análise das referências bibliográficas completas, com contagem binária e um mínimo de três ocorrências por termo.

INVENTÁRIO DE DADOS DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

A abordagem deste item envolve o estudo de caso da central de resíduos situada na Região Sul do Brasil. O empreendimento opera com o gerenciamento coletivo de RSI provenientes de processos produtivos como alimentício, metalúrgico, produtos à base de borracha, processamento de tabaco, oficinas mecânicas e demais resíduos de atividades administrativas, tais como refeitórios, sanitários, eletrônicos, pilhas e baterias, lâmpadas etc. As cargas são pesadas no recebimento, e os dados alimentam um aplicativo com todas as informações necessárias para monitoramento e prestação de contas às empresas associadas, assim como ao órgão ambiental estadual.

A Tabela 1 mostra a caracterização detalhada dos RSI gerenciados atualmente e suas respectivas destinações finais. Resíduos eletrônicos, lâmpadas, pilhas, baterias e sucata metálica, por apresentarem maior risco de contaminação ao meio ambiente local e alto valor agregado, não foram depositados nos aterros enquanto essas estruturas estavam ativas no recebimento de resíduos.

A operação atual resume-se em recebimento dos RSI gerados pelas empresas associadas, armazenamento temporário, consolidação das cargas e destinação final. Resíduos maleáveis, como papéis, borrachas e plásticos, cuja reciclagem é impossibilitada, são passíveis de enfardamento. Nesses casos são compactados em prensa hidráulica no pavilhão de armazenamento temporário, visando à otimização logística. Quando consolidadas as cargas, ocorre a destinação para tratamento externo. O transporte pode ser de responsabilidade das mantenedoras ou da central, por intermédio de empresas terceirizadas.

A Figura 1 apresenta a quantidade total de RSI gerenciada, em toneladas, desde o início das atividades da central, por tipo de tratamento. Conforme mencionado, as atividades de recebimento dos resíduos gerados pelas empresas associadas começaram após a conclusão das células de aterro Classe I, em 2004, e Classes II A e II B, em 2005. No ano de 2013, a disposição dos RSI perigosos foi suspensa, passando estes a serem enviados para tratamento externo, mediante os processos de beneficiamento ou coprocessamento. Até o início de 2018, ocorreu o recebimento de RSI não perigosos na célula de aterro Classe II, conforme condicionantes da licença de operação, paralelamente ao processo de consolidação das alternativas de destinação externa, que se tornou o principal processo de tratamento dos resíduos até os dias atuais. No gráfico é possível

visualizar com maior clareza o movimento desse empreendimento em busca de alternativas para o tratamento dos resíduos gerados, de forma a ser evitada a geração de passivos ambientais. Volumes significativos de RSI armazenados em aterros demandam alto custo de manutenção de coberturas metálicas das células, membranas de selamento, bem como monitoramento constante do lençol freático, em atendimento aos itens condicionantes fixados nas licenças ambientais de operação.

GERENCIAMENTO COLETIVO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS E ECOPARQUES

No Brasil é comum a concentração de grandes indústrias em polos ou distritos industriais. A facilidade na logística e os incentivos do poder público, além de proximidade de fornecedores, representam grandes vantagens competitivas. Na esteira das ações pelo desenvolvimento sustentável nas organizações, conceitos como ecologia industrial, simbiose industrial e ecoparques industriais (TREVISAN *et al.*, 2016) ganham força e apresentam novas concepções de gestão de resíduos industriais, com base na sustentabilidade, na coletividade e na ideia de economia circular.

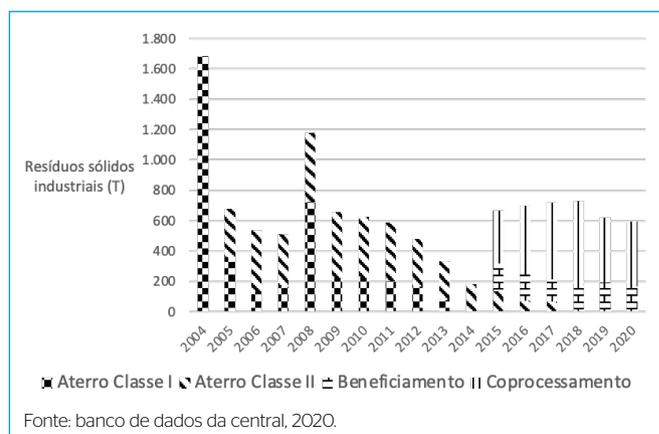


Figura 1 – Histórico da quantidade de resíduos sólidos industriais gerenciados, por tipo de tratamento.

Tabela 1 – Caracterização dos resíduos sólidos industriais gerenciados e respectivos destinos finais.

Grupo de resíduos sólidos industriais	Descrição dos resíduos sólidos industriais	Destinação final
Eletrônicos	Monitores, placas e circuitos, cartuchos/ <i>toners</i> de impressoras, televisores, computadores, lâmpadas LED, cabos e fontes de energia, <i>smartphones</i> , <i>tablets</i> etc.	Reciclagem
Lâmpadas	Lâmpadas fluorescentes inteiras e quebradas	Descontaminação/reciclagem
Pilhas e baterias	Pilhas e baterias diversas, acumuladores de energia em geral	Reciclagem
Classe I	Borra de tinta, latas de tinta, resíduos contaminados com óleo mineral e lubrificantes, <i>tiners</i> , graxas ou produtos químicos, equipamentos de proteção individual contaminados, resíduos de sais provenientes de tratamento térmico de metais, estopas sujas, lonas de freio, filtros de ar, pastilhas de freio, filtros de óleo, papéis e plásticos contaminados com graxa/óleo e lodo de galvanoplastia	Beneficiamento/coprocessamento
Classes II A e II B	Materiais orgânicos da indústria alimentícia, fibras de vidro, resíduos provenientes de banheiros e refeitórios, borrachas, equipamentos de proteção individual não contaminados, pó de polimento, varreduras, polietileno e embalagens, vidros, plásticos, gessos, discos de corte, rebolos, lixas etc.	Beneficiamento/coprocessamento
Sucata metálica	Sucata de metais ferrosos não passíveis de coprocessamento, embalagens metálicas, chapas de metal etc.	Reciclagem

Fonte: Müller (2021).

Muitos estudos já foram publicados a respeito de distritos industriais brasileiros, suas atividades e impactos ao meio ambiente. Em países em desenvolvimento como o Brasil, a agenda ambiental muitas vezes é negligenciada, por isso a maior parte desses distritos industriais ainda não pode ser enquadrada nos conceitos citados anteriormente. Como exemplos de complexos industriais importantes para a economia brasileira, podem ser citados a maior e mais industrializada cidade da América Latina, São Paulo (SP) (LOCOSSELLI *et al.*, 2020); o polo de Camaçari (BA) (SOUZA; ANDRADE SPINOLA; SOUZA, 2020); a indústria petroquímica no Rio de Janeiro (MENDES *et al.*, 2020) e no Rio Grande do Sul (SANTOS *et al.*, 2020); e os polos industriais do Amazonas (NAKA, *et al.*, 2020), no entanto a maioria desses aglomerados industriais carece de investimentos em melhorias em seus sistemas de gestão de RSI ou ainda se concentram na remediação de impactos ambientais antigos, praticamente irreversíveis nos locais em que se instalaram.

Um estudo identificou e examinou 18 ecoparques industriais e dividiu-os em cinco modelos para terem suas *performances* avaliadas quanto ao intercâmbio de materiais (CHERTOW, 2000). A central desse estudo de caso pode ser considerada um híbrido desses modelos de intercâmbio propostos, conforme segue:

- Intercâmbio externo de RSI: pode ser considerado um agente intermediário entre os geradores e empresas terceiras que darão o tratamento e/ou a destinação final correta aos resíduos recicláveis. A equipe técnica da central orienta a segregação dos resíduos na fonte, recebe e armazena temporariamente esses resíduos, em alguns casos realiza algum tipo de triagem, consolida cargas fechadas, reduzindo custos com transporte, e por fim procede à doação ou venda de recicláveis para a destinação final correta, com certificação ambiental e rastreabilidade de informações para os seus associados;
- Intercâmbio interno de RSI: a central, por vezes, recebe doações de equipamentos industriais utilizados pelas empresas mantenedoras, desde que eles se enquadrem em algum processo de menor exigência e tenham as mínimas condições de uso, após manutenção, incrementando tempo de vida útil a esses equipamentos;
- Intercâmbio entre plantas instaladas em polos industriais: o município em que está inserida a central, um polo industrial local, concentra principalmente empresas do ramo do tabaco, grande parte delas associada à instituição. O sistema de compostagem desenvolvido neste estudo de caso é responsável pelo tratamento dos resíduos do processamento do tabaco dessas empresas. Esses resíduos podem ser considerados um coproduto que, após tratamento, dá origem a adubo orgânico. Além disso, os membros representantes de cada empresa, normalmente colaboradores ligados à área ambiental, formam o conselho deliberativo. Em reuniões ordinárias anuais, tais membros compartilham diversas informações e direcionam os recursos para os investimentos futuros;
- Intercâmbio entre plantas não limitadas fisicamente: algumas empresas associadas pertencem a municípios vizinhos e, apesar de maiores custos com transporte, enviam seus resíduos para a gestão integrada da central, vendo nesta uma vantagem competitiva principalmente no que diz respeito ao licenciamento ambiental e à transparência nas informações prestadas. A unidade também recebe e avalia projetos e empresas que desejam conhecer o trabalho desenvolvido e demonstram interesse em enviar seus resíduos para um sistema de gerenciamento coletivo;
- Intercâmbio entre empresas organizadas virtualmente: expansão para o nível regional, pelo potencial de absorção de outros subprodutos compatíveis com

o sistema de compostagem, além de pequenas empresas locais de transporte de resíduos utilizarem a estrutura para a destinação correta dos RSI coletados em empresas menores.

A planta contempla as maiores indústrias da região, muitas delas multinacionais, com sistemas de gestão ambiental (SGA) consolidados e auditados regularmente. Em um SGA, uma das técnicas de monitoramento mais completas é a ACV. Essa ferramenta pode ser aplicada para avaliar os principais impactos ambientais de um processo ou produto, ao longo de toda a sua cadeia, desde a extração da matéria-prima até o fim de sua vida útil, passando pelas demandas energéticas e de insumos, além da geração de resíduos, emissões atmosféricas e seus impactos ao meio ambiente e à saúde humana (MENDES; BUENO; OMETO, 2016).

A difusão desse tema reflete-se no crescente número de estudos realizados acerca da ACV. Uma das principais premissas dessa ferramenta é a elaboração de cenários, sempre baseados nas particularidades do contexto em que a organização está inserida. Um estudo reuniu diferentes atores sociais e o poder público na elaboração dos cenários possíveis para a gestão integrada de resíduos sólidos urbanos da capital do estado do Rio Grande do Sul, levando em consideração a ótica de cada uma das pessoas entrevistadas (REICHERT; MENDES, 2014). Outro estudo desenvolveu um sistema de compostagem em um *campus* universitário, visando tratar os resíduos orgânicos gerados (45% do volume total). Os resultados apontaram para a redução de custos com destinação dos resíduos, geração de um adubo orgânico que pode contribuir para a recuperação do solo local e redução da necessidade de adubação química (KENG *et al.*, 2020).

O tratamento dos resíduos de tabaco gerados pelas empresas associadas é a atividade mais importante exercida atualmente pela central analisada. Com base nisso, a busca de referências foi direcionada para estudos acerca de sistemas viáveis para o tratamento dos resíduos típicos da indústria de beneficiamento de tabaco. Um estudo elaborou três cenários para tratamento do talo residual do processamento de tabaco: queima irregular a céu aberto, geração de energia e confecção de bandejas para mudas de plantas. O processo oferece uma alternativa de redução da demanda por bandejas de plástico e reinserção dos nutrientes presentes no resíduo no solo, fechando um ciclo. Por outro lado, o tratamento químico demandado para o resíduo no processo de fabricação das bandejas faz com que esse cenário seja o de maior impacto, principalmente pelos resultados obtidos para as categorias de ecotoxicidade e toxicidade humana (QIN *et al.*, 2018).

Outra pesquisa importante avaliou a aplicação de uma ferramenta de multicritérios na tomada de decisão de empresas, considerando um resíduo pós-consumo bastante negligenciado na cadeia do tabaco: as bitucas de cigarro. Segundo Khalili, Ehrlich e Dia-Eddine (2013), o ciclo de vida da cadeia do tabaco sofre pressões simultâneas com relação aos impactos ao meio ambiente e à saúde humana em três frentes. A primeira delas são os impactos ambientais do cultivo, transporte e processamento; a segunda diz respeito aos danos que o cigarro traz à saúde das pessoas, por meio da inalação da fumaça por fumantes ativos e passivos; e a terceira advém dos resíduos pós-consumo, os filtros de acetato de celulose, popularmente conhecidos como bitucas. No âmbito específico da ACV, os indicadores que mais se destacaram nesta pesquisa foram o desenvolvimento sustentável dos produtos, seguido de um setor de produção direcionado ao desperdício zero e por fim o investimento em desenvolvimentos ecológicos. Os resultados mostram que os anseios por estratégias que

promovam o desenvolvimento sustentável partem das indústrias, indicando o descrédito das ações governamentais sobre o tema (KHALILI; EHLICH; DIA-EDDINE, 2013).

Ao analisar a cadeia do tabaco de forma tradicional, na perspectiva de extrair, consumir e descartar, também caracterizada como do berço ao túmulo, cada fase do ciclo de vida apresenta um impacto específico ao meio ambiente e à saúde humana. Foi o que apontou um trabalho dos autores Zafeiridou, Hopkinson e Voulvoulis (2018), no qual se pode obter uma classificação, do maior ao menor impacto ambiental: cultivo do tabaco, processo de cura, manufatura, resíduos pós-consumo, processamento e logística de distribuição. Na etapa de cultivo, as categorias mais impactantes são a quantidade de água necessária para o desenvolvimento das plantas e os impactos no solo sobretudo pela adubação química. Na etapa de cura, que é basicamente a secagem das folhas em estufas, a queima da biomassa nas mudanças climáticas e a acidificação terrestre decorrente das emissões atmosféricas são os impactos ambientais mais nocivos. Na etapa de manufatura, o principal impacto advém da demanda energética nas plantas industriais, responsável por pelo menos 60% do impacto em todas as categorias, bem como as categorias relacionadas à eutrofização dos corpos hídricos (ZAFEIRIDOU; HOPKINSON; VOULVOULIS, 2018).

REVISÃO SISTEMÁTICA ASSOCIADA À GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS DA INDÚSTRIA DO TABACO

A revisão associou inicialmente os resultados por ano, obtidos da base de dados Scopus. Esses dados apontam significativa diferença na quantidade de artigos entre as combinações de palavras-chave pesquisadas, no período dos últimos 20 anos. Enquanto o tema ACV e simbiose industrial resultou em 103 artigos, a gestão de RSI da indústria do tabaco apresenta 39 resultados. Uma das explicações se deve ao fato de o segundo tema ser mais representativo, ligado a esse ramo específico da indústria, diferentemente do primeiro, que abrange diversos outros processos produtivos. Em 2015, o tema ACV e simbiose industrial apresentou forte crescimento no interesse dos pesquisadores, mantendo-se consolidado até o presente momento. O tema da gestão de RSI da indústria do tabaco também indicou crescimento com posterior consolidação a partir de 2012. Na Figura 2 são apresentados os dados analisados.

Na Figura 3, estão os 10 principais autores referentes à combinação de palavras-chave “Life Cycle Assessment + Industrial Symbiosis”, ordenados por quantidade de trabalhos publicados, com destaque para o autor M. Martin, com sete publicações.

O referido pesquisador, Michael Alan Martin, trabalha hoje em dia na ACV e gestão ambiental do Instituto de Pesquisas Ambientais sueco. Sua experiência e trabalho atual incluem métodos de pesquisa quantitativos e qualitativos aplicados para compreender as implicações do consumo e o uso de avaliações de sustentabilidade de simbiose industrial, economia circular, sistemas de produção de alimentos, bioindústrias e bioenergia e de que maneiras as informações de avaliação de sustentabilidade podem ser aprimoradas e mais bem divulgadas à sociedade (MARTIN, 2021). A Tabela 2 traz um resumo de três trabalhos publicados pelo autor.

Por sua vez, na Figura 4, no tema específico da indústria do tabaco, pode-se considerar o autor T. E. Novotny como referência, com quatro publicações, mesmo ele não sendo o autor principal.

Thomas E. Novotny é um médico epidemiologista com vasta experiência em pesquisa de controle do tabaco, além de sustentar posição governamental como diplomata de saúde. Ele foi um cirurgião-geral assistente no serviço de saúde pública dos Estados Unidos e subsecretário adjunto para saúde internacional e de refugiados. Atualmente, é codiretor de um programa de PhD em Saúde Global e conduz pesquisas sobre tuberculose e tabagismo, poluição ambiental por bitucas de cigarro e órfãos afetados pelo vírus da imunodeficiência humana (HIV) (NOVOTNY, 2021). A Tabela 3 apresenta um resumo de três trabalhos publicados pelo autor relacionados à indústria do tabaco e aos resíduos gerados nessa cadeia produtiva.

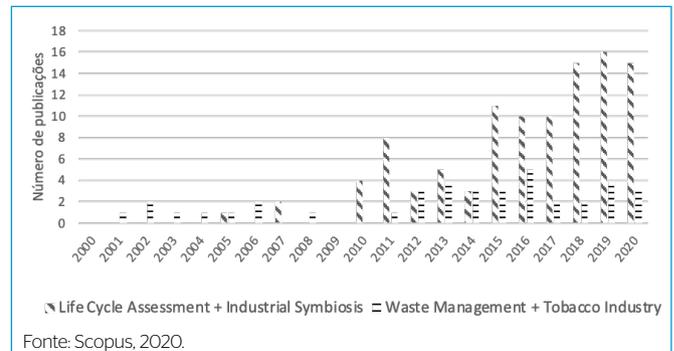


Figura 2 – Publicações por ano relacionadas aos termos “Life Cycle Assessment + Industrial Symbiosis” e “Waste Management + Tobacco Industry”.

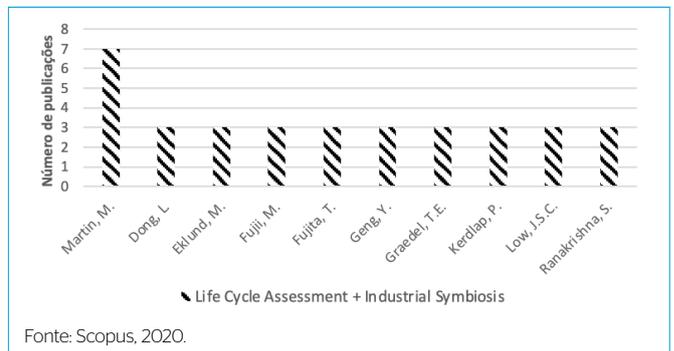


Figura 3 – Publicações por autor relacionadas aos termos “Life Cycle Assessment + Industrial Symbiosis”.

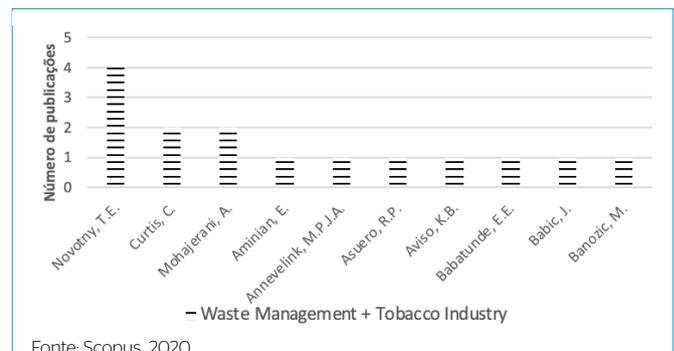


Figura 4 – Publicações por autor, relacionadas aos termos “Waste Management + Tobacco Industry”.

Tabela 2 – Resumo de três publicações do autor M. Martin.

Artigo	Objetivos	Metodologia	Resultados	Referência
"Exploring the environmental performance of urban symbiosis for vertical hydroponic farming"	Avaliar as implicações ambientais do emprego de fluxos de materiais residuais para hidroponia vertical, agricultura em ambientes urbanos, a fim de apoiar o abastecimento de alimentos circulares, resilientes e sustentáveis	A avaliação é baseada no ciclo de vida da produção anual de um sistema de cultivo hidropônico vertical no sul de Estocolmo, produzindo 60 mil plantas/ano para quatro cenários distintos, incluindo resíduos de grãos de cervejaria e biofertilizante nos meios de cultivo	O emprego de biofertilizantes viabilizou mais de 60% de redução nas emissões de gases de efeito estufa, acidificação e impactos de toxicidade humana. Os impactos da eutrofização foram reduzidos em mais de 50%, e o esgotamento dos recursos abióticos diminuiu em mais de 40%	(MARTIN; POULIKIDOU; MOLIN, 2019)
"Evaluating the environmental performance of producing soil and surfaces through industrial symbiosis"	Avaliar o desempenho ambiental de uma rede de simbiose industrial na Suécia e opções de melhorias futuras	A avaliação do desempenho ambiental da rede de simbiose industrial segue a metodologia baseada no ciclo de vida e inclui três cenários: atual, referência e futuro. Leva em conta a substituição de produtos convencionais	Todas as empresas mostraram beneficiar-se das trocas simbióticas de material e energia. Os resultados indicam que a facilitação das trocas de subprodutos é importante para a rede e para o desempenho ambiental das empresas envolvidas	(MARTIN, 2020)
"Assessing the aggregated environmental benefits from by-product and utility synergies in the Swedish biofuel industry"	Quantificar e analisar os benefícios ambientais da produção sueca de biocombustíveis no que diz respeito à substituição de produtos convencionais, pela avaliação de cenários de médio prazo (2030)	Processos de produção de biocombustíveis comerciais foram revisados e analisados. Duas diferentes perspectivas de tempo foram aplicadas: atual (2015) e médio prazo, com cenários ambicioso e cauteloso para 2030	Potencial significativo de redução de gases de efeito estufa exigiria um substancial aumento de produção – dos atuais 5,2 TWh para 13 (cauteloso) ou 29 TWh (ambicioso). Um dos maiores benefícios seria a substituição de fertilizantes convencionais por lodo de biogás	(MARTIN <i>et al.</i> , 2020)

Fonte: Müller (2021).

Tabela 3 – Resumo de três publicações com participação do autor T. E. Novotny.

Artigo	Objetivos	Metodologia	Resultados	Referência
"Perspectives on tobacco product waste: a survey of framework convention alliance members' knowledge, attitudes, and beliefs"	Pesquisar os princípios ambientais do ciclo de vida do tabaco, com ênfase nos resíduos pós-consumo (bitucas), aos membros de grupos da sociedade civil que apoiam o desenvolvimento, a ratificação, a implementação e o monitoramento da Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco da Organização Mundial da Saúde	A pesquisa teve três seções: informações demográficas sobre os participantes e seu papel em sua organização / país; conhecimento e crenças acerca dos resíduos da indústria do tabaco; e consciência e percepções sobre esses resíduos e princípios ambientais relacionados	Quando perguntado quem deveria ser responsável pela limpeza das bitucas, a maioria dos entrevistados (77%) indicou a indústria do tabaco e também respondeu que os fumantes deveriam ser responsabilizados (72%) e, por fim, as cidades e comunidades, pelo poder público	(JAVADIAN <i>et al.</i> , 2015)
"Tobacco industry responsibility for butts: a model tobacco waste act"	Alertar para a complexidade da gestão de resíduos pós-consumo da indústria do tabaco (conhecidos como bitucas), pelo desenvolvimento de um modelo de resíduos de tabaco. Os pilares para atingir esses objetivos são responsabilidade estendida ao produtor e gestão de produtos	O estudo descreve o desenvolvimento de um modelo de resíduos de tabaco, que pode ser adaptado no âmbito nacional ou no nível subnacional para implementar a abordagem da gestão dos resíduos pós-consumo da indústria do tabaco (bitucas)	Algumas das intervenções de responsabilidade estendida ao produtor e gestão de produtos que poderiam fundamentar a promulgação da lei são: obrigatoriedade de programas de logística reversa, mudanças na responsabilização pela geração dos resíduos, financiamento de programas de gestão e coleta de resíduos, investimento em mudanças no <i>design</i> do produto (cigarro)	(CURTIS <i>et al.</i> , 2017)
"Global health perspectives on cigarette butts and the environment"	Aplicar a mesma pesquisa supracitada sobre os princípios ambientais do ciclo de vida do tabaco, com ênfase nos resíduos pós-consumo (bitucas), aos mesmos grupos da sociedade civil e avaliar as diferentes percepções sobre o mesmo tema cinco anos depois	A pesquisa seguiu a metodologia anterior, com as três seções: informações demográficas sobre os participantes e seu papel em sua organização / país; conhecimento e crenças acerca dos resíduos da indústria do tabaco; e consciência e percepções sobre esses resíduos e princípios ambientais relacionados	Os entrevistados acreditam que o governo nacional (classificação ponderada de 10,4), a indústria do tabaco (9,2) e os governos estaduais (8,4) possuem, respectivamente, o maior peso de responsabilidade pelos resíduos da indústria do tabaco. Ao comparar os resultados do estudo de 2014, houve melhora significativa quanto aos níveis de informação sobre o assunto.	(STIGLER-GRANADOS, <i>et al.</i> , 2019)

Fonte: Müller (2021).

Os países que mais publicaram sobre os temas estão apresentados nas Figuras 5 e 6. A China destaca-se nos dois assuntos, mas lidera no tema ACV e simbiose industrial, com 18 publicações, seguida de Itália e Estados Unidos, com 14 e 13 artigos, respectivamente.

Os Estados Unidos, por sua vez, lideram quando o assunto é gestão de RSI na indústria do tabaco, com 11 publicações, seguidos pela China e pela Índia, com seis e quatro artigos, respectivamente. O Brasil aparece com duas publicações sobre o tema ligado à produção de tabaco.

Ao todo, foram encontrados 231 termos diferentes, e os cinco com maior número de ocorrências foram “Life Cycle Assessment” (93), “Industrial Symbiosis” (75) “Environmental Impact” (54), “Waste Management” (52) e “Environmental Management” (34).

No gráfico da Figura 7, gerado da análise de coocorrência das palavras-chave, é possível identificar seis núcleos mais intensos de relação. O principal deles, com forte ligação com ACV e simbiose industrial, relaciona-se a impactos da indústria e seus processos ao meio ambiente, uso de energia e desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis. Outro nicho importante de pesquisa é o gerenciamento de resíduos, que neste estudo foi associado à indústria do tabaco e aos impactos do seu cultivo no uso da terra, à eutrofização de corpos hídricos e a emissões de gases de efeito estufa. Posteriormente ao seu processamento, o tratamento de resíduos sólidos e líquidos gerados também trará impactos, porém menos significativos.

O terceiro núcleo com maior destaque está mais relacionado aos malefícios do cigarro à saúde humana e aos riscos dos resíduos pós-consumo, representados pelas substâncias tóxicas presentes na fumaça inalada tanto pelos fumantes passivos como pelos ativos e nos filtros de acetato, componentes dos cigarros descartados nos espaços públicos sem a possibilidade de qualquer tipo de tratamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pesquisas acerca do gerenciamento de RSI tendem a um avanço, dados o agravamento da crise ambiental atual e a escassez de recursos naturais. Com isso, torna-se cada vez mais importantes a fiscalização de atividades industriais potencialmente poluidoras, maiores investimentos em ações ambientais e transparência nas informações por parte das organizações. Esse movimento coincide com a consolidação dos SGA e bancos de dados, visando contribuir para o objetivo principal de desenvolvimento sustentável na indústria contemporânea.

Neste artigo, foram conhecidos distritos industriais brasileiros com sistemas de gerenciamento coletivo de resíduos semelhantes ao do estudo de caso analisado, alguns bem-sucedidos, e outros que necessitam de aprimoramento e até de ações corretivas mais drásticas. A central de resíduos objeto deste estudo é um exemplo local de experiência bem-sucedida de gerenciamento coletivo de RSI, contribuindo para o efetivo avanço na questão do gerenciamento de resíduos industriais. É fundamental que não se repitam casos como o do polo industrial de Cubatão, em São Paulo, onde anos de descaso para com o meio ambiente cobram seu preço até os dias de hoje (FREITAS GUIMARÃES, 2004).

Por outro lado, mediante a revisão sistemática, chegou-se ao conceito de simbiose industrial, que deriva de ecologia industrial e que pode ser utilizado para definir a central investigada. Os estudos acerca do conceito de simbiose,

que significa viver junto, mostraram outros casos e ilustram conglomerados industriais que concluíram que o gerenciamento de resíduos e o atendimento a requisitos legais ligados ao meio ambiente, que antes eram realizados individualmente e, por isso, eram mais difíceis e onerosos, quando feitos de forma coletiva tendem a trazer benefícios às partes.

Um modelo de economia circular, que visa agregar valor a materiais que antes seriam descartados, pode e deve ser implementado em arranjos produtivos, servindo como disseminador do desenvolvimento sustentável: equilíbrio entre o socialmente justo, o economicamente viável e o ambientalmente correto. A redução de custos, a simplificação de processos, o atendimento a requisitos legais e a troca de experiências a respeito do gerenciamento de RSI são alguns dos benefícios potenciais.

As pesquisas utilizando os termos mais amplos dessa revisão “Life Cycle Assessment” e “Industrial Symbiosis” revelaram que o tema ACV se encontra em expansão no que diz respeito ao interesse acadêmico. Pela pesquisa, espera-se que o assunto seja difundido, contribuindo para a consolidação dessa importante ferramenta de gestão ambiental. A segunda combinação de expressões, “Waste Management” e “Tobacco Industry”, por ser mais específica, apresentou estabilidade no número de publicações. Uma possível explicação para isso é a redução do tabagismo em algumas nações, cujas populações mais jovens tendem a optar por estilos de vida mais saudáveis, desestimulando o consumo do tabaco e forçando a redução na produção. Logo, tem-se a tendência de baixo interesse acadêmico a respeito do tema.

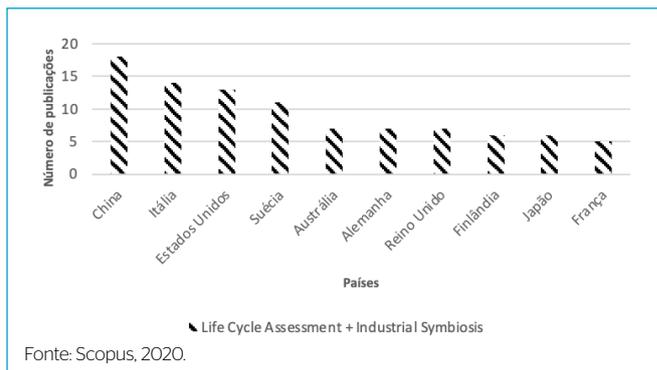


Figura 5 – Publicações por país relacionadas aos termos “Life Cycle Assessment + Industrial Symbiosis”.

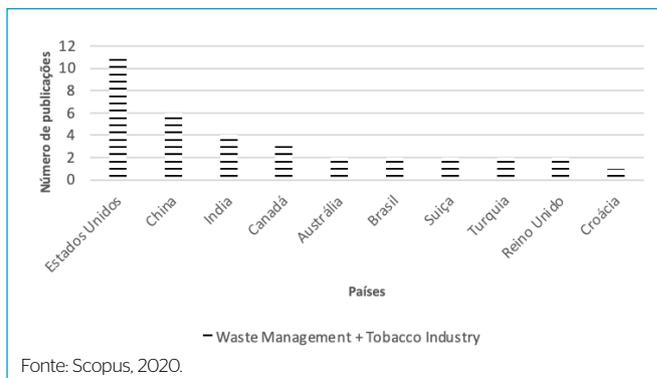


Figura 6 – Publicações por país relacionadas aos termos “Waste Management + Tobacco Industry”.

- ANDRÉ, C.D.S.; ANDRÉ, P.A.; SINGER, J.M.; SAIKI, M.; ZACCARELLI-MARINO, M.A.; SALDIVA, P.H.N.; BUCKERIDGE, M.S. Spatial-temporal variability of metal pollution across an industrial district, evidencing the environmental inequality in São Paulo. *Environmental Pollution*, v. 263, 2020.
- MARTIN, M.A. *ResearchGate - find and share research*. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Michael_Martin10, 2021. Acesso em: 3 jan. 2021.
- MARTIN, M. Evaluating the environmental performance of producing soil and surfaces through industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, v. 24, n. 3, p. 626-638, 2020. <https://doi.org/10.1111/jiec.12941>
- MARTIN, M.; POULIKIDOU, S.; MOLIN, E. Exploring the environmental performance of urban symbiosis for vertical hydroponic farming. *Sustainability*, v. 11, n. 23, p. 6724, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11236724>
- MARTIN, M.; WETTERLUND, E.; HACKL, R.; HOLMGREN, K.M.; PECK, P. Assessing the aggregated environmental benefits from by-product and utility synergies in the Swedish biofuel industry. *Biofuels*, v. 11, n. 6, p. 683-698, 2020. <https://doi.org/10.1080/17597269.20171387752>
- MENDES, D.; DANTAS, G.; SILVA, M.A.; SEIXAS, E.G.; SILVA, C.M.; ARBILLA, G. Impact of the petrochemical complex on the air quality of an urban area in the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 104, n. 4, p. 438-443, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-02802-3>
- MENDES, N.C.; BUENO, C.; OMETTO, A.R. Avaliação de impacto do ciclo de vida: revisão dos principais métodos. *Production*, v. 26, n. 1, p. 160-175, 2016. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.153213>
- MIRANDA SOBRINHO, P.E.A.; MARTINS, C.M.; GOMES, S.C.; CABRAL, E.R.; SANTOS, M.A.S.; SOUZA, C.C.F. Gestão de resíduos sólidos no Polo Industrial de Manaus, Amazônia, Brasil. *Revista Metropolitana de Sustentabilidade*, v. 10, n. 2, p. 212-234, 2020.
- MÜLLER, F.L.D. *Gerenciamento coletivo de resíduos sólidos industriais e avaliação de impacto do ciclo de vida em um sistema de compostagem de resíduos do processamento de tabaco*. 2021. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2021.
- NAKA, K.S.; MENDES, L.C.S.; QUEIROZ, T.K.L.; COSTA, B.N.S.; JESUS, I.M.; CÂMARA, V.M.; LIMA, M.O. A comparative study of cadmium levels in blood from exposed populations in an industrial area of the Amazon, Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 698, 134309, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134309>
- NOVOTNY, T.E. *PeerJ - Life & Environment*. 2021. Disponível em: <https://peerj.com/tomnovotny/>. Acesso em: 3 jan. 2021.
- QIN, Z.; SUN, M.; LUO, X.; ZHANG, H.; XIE, J.; CHEN, H.; YANG, L.; SHI, L. Life-cycle assessment of tobacco stalk utilization. *Bioresource Technology*, v. 265, p. 119-127, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.05.110>
- REICHERT, G.A.; MENDES, C.A.B. Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.19, n. 3, p. 301-313, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000001145>
- SANTOS, P.G.; SCHERER, C.M.; FISCH, A.G.; RODRIGUES, M.A.S. Petrochemical wastewater treatment: Water recovery using membrane distillation. *Journal of Cleaner Production*, v. 267, 121985, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121985>
- SELLITTO, M.A.; ALMEIDA, F.A. Strategies for value recovery from industrial waste: case studies of six industries from Brazil. *Benchmarking*, v. 27, n. 2, p. 867-885, 2019. <https://doi.org/10.1108/BIJ-03-2019-0138>
- SILVA, W.D.O.; FONTANA, M.E. Integrative multi-attribute negotiation model to define stakeholders' responsibilities in the reverse flow channel. *Journal of Cleaner Production*, v. 279, p. 123752, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123752>
- SOUZA, J.G.; ANDRADE SPINOLA, C.; SOUZA, L.N. Camaçari: repercussões urbanas e ambientais do crescimento industrial. *Scientia: Revista Científica Multidisciplinar*, v. 5, n. 2, p. 13-28, 2020.
- STIGLER-GRANADOS, P.; FULTON, L.; PATLAN, E.N.; TERZYK, M.; NOVOTNY, T.E. Global health perspectives on cigarette butts and the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 16, n. 10, p. 1858, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijerph16101858>
- TREVISAN, M.; NASCIMENTO, L.F.; MADRUGA, L.R.D.R.G.; NEUTZLING, D.M.; FIGUEIRÓ, P.S.; BOSSIE, M.B. Ecologia industrial, simbiose industrial e ecoparque industrial: conhecer para aplicar. *Sistemas & Gestão*, v. 11, n. 2, p. 204-215, 2016. <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2016.v11n2.993>
- VAN ECK, N.J.; WALTMAN, L. *VOSviewer manual*. Leiden: Universteit Leiden, 2013. v. 1, n. 1. 53 p.
- ZAFEIRIDOU, M.; HOPKINSON, N.S.; VOULVOULIS, N. Cigarette smoking: an assessment of tobacco's global environmental footprint across its entire supply chain. *Environmental Science & Technology*, v. 52, n. 15, p. 8087-8094, 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01533>