

INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA EM USINA DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE TABACO

Fausto Lopes Duarte Müller – faustolopez888@hotmail.com

PPGTA-Universidade de Santa Cruz do Sul

CEP – Cidade – Estado

96815-900 - Santa Cruz do Sul - RS

Adriane Lawisch Rodriguez – adriane@unisc.br

PPGTA-Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC

Jorge André Ribas Moraes – jorge@unisc.br

PPGTA-Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC

Carlos Alexandre Lutterbeck - carlosalexandre@unisc.br

PPGTA-Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC

Ênio Leandro Machado - enio@unisc.br

PPGTA-Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC

Resumo: O gerenciamento coletivo de resíduos industriais é uma alternativa que visa a redução de custos e simplificação de atendimento a requisitos legais para organizações atentas à causa ambiental. No Brasil, a legislação ambiental utiliza como instrumento o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais por parte das empresas geradoras e como recomendação de prognóstico, o gerenciamento integrado de resíduos e a implementação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Neste sentido, é importante a manutenção de um banco de dados confiável da geração de resíduos industriais. Este artigo teve como objetivo aplicar um estudo de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) no Sistema de Compostagem de uma Fundação da Proteção Ambiental (FPA) localizada na região Sul do Brasil, que realiza o tratamento biológico dos resíduos do processamento do tabaco. Os resíduos são convertidos em um adubo orgânico com potencial de aplicação agrônômico que pode ser reinserido na cadeia produtiva, seguindo os preceitos de um sistema de economia circular. O Inventário do Ciclo de Vida (ICV) mostrou a importância da qualidade de um banco de dados no que diz respeito à gestão coletiva de resíduos industriais.

Palavras-chave: gerenciamento coletivo, resíduos sólidos industriais, avaliação do impacto do ciclo de vida, compostagem de resíduos do tabaco, economia circular.



LIFE CYCLE INVENTORY IN WASTE COMPOSTING PLANT FROM THE TOBACCO PROCESSING INDUSTRY

Abstract: *Collective management of industrial waste is an alternative that aims to reduce costs and simplify compliance with legal requirements for organizations aware of the environmental cause. In Brazil, environmental legislation uses the National Inventory of Industrial Solid Waste as an instrument by generating companies and as a recommendation for prognosis, integrated waste management and the implementation of Life Cycle Assessment (LCA). In this sense, it is important to maintain a reliable database of industrial waste generation. This article aimed to apply a Life Cycle Impact Assessment (LCIA) study in the Composting System of an Environmental Protection Foundation (FPA) located in the southern region of Brazil, which carries out the biological treatment of tobacco processing residues. The waste is converted into an organic fertilizer with agronomic application potential that can be reinserted into the production chain, following the precepts of a circular economy system. The Life Cycle Inventory (ICV) showed the importance of the quality of a database with regard to the collective management of industrial waste.*

Keywords: *collective management, industrial solid waste, life cycle impact assessment, tobacco waste composting, circular economy.*

1. INTRODUÇÃO

Na região central do Estado do Rio Grande do Sul, extremo sul do Brasil, um grupo de grandes indústrias locais mantém uma Fundação de Proteção Ambiental (FPA) privada, sem fins lucrativos que tem a responsabilidade de gerenciar coletivamente os resíduos gerados, buscando soluções economicamente viáveis e ambientalmente corretas (RIO GRANDE DO SUL, 2008). A operação se divide em duas atividades licenciadas pelo órgão ambiental local: uma central de recebimento, armazenamento temporário e destinação final de Resíduos Sólidos Industriais (RSI) Classes I e II (FEPAM, 2019a); e a operação de um Sistema de Compostagem de resíduos da indústria processadora de tabaco (FEPAM, 2020a). Mais da metade das empresas mantenedoras desta instituição pertence ao ramo do tabaco sendo, portanto, o gerenciamento destes resíduos, a principal atividade desenvolvida.

A produção mundial de tabaco vem sendo discutida e muito criticada devido aos danos que o seu principal produto, o cigarro, produz sobre a saúde humana (OMS, 2009). Por outro lado, não há no setor agrícola da região, outra cultura que ofereça tanta renda ao pequeno agricultor, atestando a importância do plantio de tabaco para centenas de milhares de brasileiros em tempos de crise e desemprego (ALVARENGA; SILVEIRA, 2019) (KIST; DE CARVALHO; BELING; TREICHEL et al., 2019) (RODRIGUES, 2019).

O Brasil lidera há mais de 25 anos as exportações de tabaco, para cerca de 100 países. O setor abrange 150 mil famílias de pequenos produtores, concentradas em grande parte nos mais de 550 municípios produtores da região Sul do Brasil, onde os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná representam 97% da produção nacional, respectivamente 48,2%, 32,3% e 19,4% do total. Durante a safra de 2019, nas três Unidades Federativas citadas, a produção ultrapassou as 660 mil toneladas, e a geração de renda atingiu mais de R\$ 30 bilhões divididos entre recolhimento de impostos aos cofres públicos, sustento para produtores e suas famílias, lucro para as indústrias e o setor de varejo. Mesmo assim, fatores externos como crises econômicas, alta carga tributária brasileira, contrabando e condições climáticas desfavoráveis ainda afetam o setor (KIST; DE CARVALHO; BELING; TREICHEL et al., 2019). Outro



aspecto que deve ser administrado para não afetar o setor é o correto gerenciamento dos RSI gerados.

A Lei nº 12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos -PNRS tem entre seus objetivos a gestão integrada de resíduos e estímulo à implementação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de processos e produtos (BRASIL, 2010a). De acordo com as NBRs-ISO 14.040 (ABNT, 2001) e 14.044 (ABNT, 2009), a ACV é uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto ou serviço, através de inventários de entradas e saídas de um processo, enumeração e avaliação dos impactos ambientais inerentes a esta operação e interpretação dos resultados obtidos. Constitui uma ferramenta de suma importância para tomadas de decisão estratégicas dentro do Sistema de Gestão Ambiental (SGA) de uma organização.

No âmbito do gerenciamento de resíduos da cadeia produtiva do tabaco, um estudo aplicou uma ACV propondo três cenários para tratamento do talo residual do processamento de tabaco: queima irregular a céu aberto, geração de energia e o mais interessante deles, a confecção de bandejas para mudas de plantas. No entanto, a última alternativa, que parece ser a mais correta ambientalmente, se revelou a mais impactante, em função do tratamento químico necessário para adaptar os resíduos ao processo (QIN; SUN; LUO; ZHANG et al., 2018).

Outro estudo que analisou o ciclo de vida da cadeia do tabaco apontou que este ramo industrial sofre pressões simultâneas com relação aos impactos ao meio ambiente e à saúde humana em três frentes: a primeira agrupa a produção, logística e processamento; a segunda considera o impacto do consumo e os danos do tabagismo à saúde humana; e a terceira leva em conta os resíduos pós-consumo, conhecidos como bitucas de cigarro (KHALILI; EHRLICH; DIA-EDDINE, 2013).

Este artigo tem por objetivo aplicar um estudo de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) no processo de tratamento dos resíduos da indústria processadora de tabaco. O Sistema de Compostagem estudado encontra-se consolidado como um case de sucesso na região Sul do Brasil (KIST; DOS SANTOS; DE CARVALHO; TREICHEL et al., 2016), e converte os RSI em um adubo orgânico de qualidade que pode ser reinserido na cadeia produtiva do tabaco ou em outras culturas agrícolas, promovendo benefícios como a recuperação de nutrientes e a redução da demanda por adubos químicos extremamente nocivos para o meio ambiente.

2. METODOLOGIA

2.1. Escopo de Trabalho

Foi elaborado um Inventário de Ciclo de Vida (ICV) preliminar no Sistema de Compostagem. O processo foi dividido em fases e tem início na operação de transporte dos resíduos gerados pelo processamento do tabaco nas indústrias até a FPA, em caminhões de empresas terceirizadas. Esta foi denominada a Fase 1.

Na área de descarregamento, ocorre a Fase 2, com o tratamento dos resíduos nas leiras de compostagem. Foi considerada como parte desta fase, a retirada do material das leiras após o tratamento, com máquinas carregadeiras e acondicionamento nos pavilhões de maturação.

A Fase 3 constitui o período de maturação das pilhas de composto orgânico, compreendido entre 60 e 90 dias. Nesta etapa, é comum o aumento da temperatura do material, devido à atividade microbiológica intensa. Com a temperatura das pilhas chegando próxima dos 90° C, existindo o risco de combustão do material, sendo necessário o resfriamento das pilhas, através da umidificação e revolvimento com máquinas carregadeiras. Após o término da Fase 3, o volume inicial das pilhas de resíduo sofre uma redução estimada em 20%.



A expedição do material é a Fase 4 do processo, durante a qual ocorre o carregamento do material de duas maneiras: A) Carregamento ensacado; B) Carregamento a granel. A Fase 4A se subdivide ainda em 3 etapas, levando em consideração a movimentação do material após maturação nas áreas de armazenamento para o pavilhão da linha de ensacamento (Fase 4A1). Dentro deste setor, uma carregadeira de pequeno porte é utilizada para a alimentação do sistema (Fase 4A2), que produz a versão embalada do adubo orgânico em sacos de 45 kg (Fase 4A3).

A Fase 4B consiste no carregamento de produto a granel, diretamente dos pavilhões de maturação aos veículos transportadores, utilizando-se as máquinas carregadeiras de maior capacidade.

A última etapa do estudo é a Fase 5, de Transporte do adubo, que também se divide em duas formas: A) Transporte de adubo ensacado e B) Transporte de adubo a granel.

A unidade funcional (UF) considerada neste ICV foi a quantidade de resíduos processada, com fluxo de referência (FR) de 130 toneladas de resíduos, volume máximo que pode ser acumulado em uma leira para tratamento. Na metade da Fase 3, o FR reduz a 117 t, pois considera-se que o material atingiu a metade do seu período de maturação. Considera-se, portanto uma quebra de 10% do seu volume inicial para chegar neste resultado. Com o produto já pronto para a expedição, o FR passa a ser de 104 t de adubo orgânico pós maturação (-20% do volume inicial).

A Figura 1 apresenta o fluxograma completo do Sistema de Compostagem, descrevendo cada fase do processo.

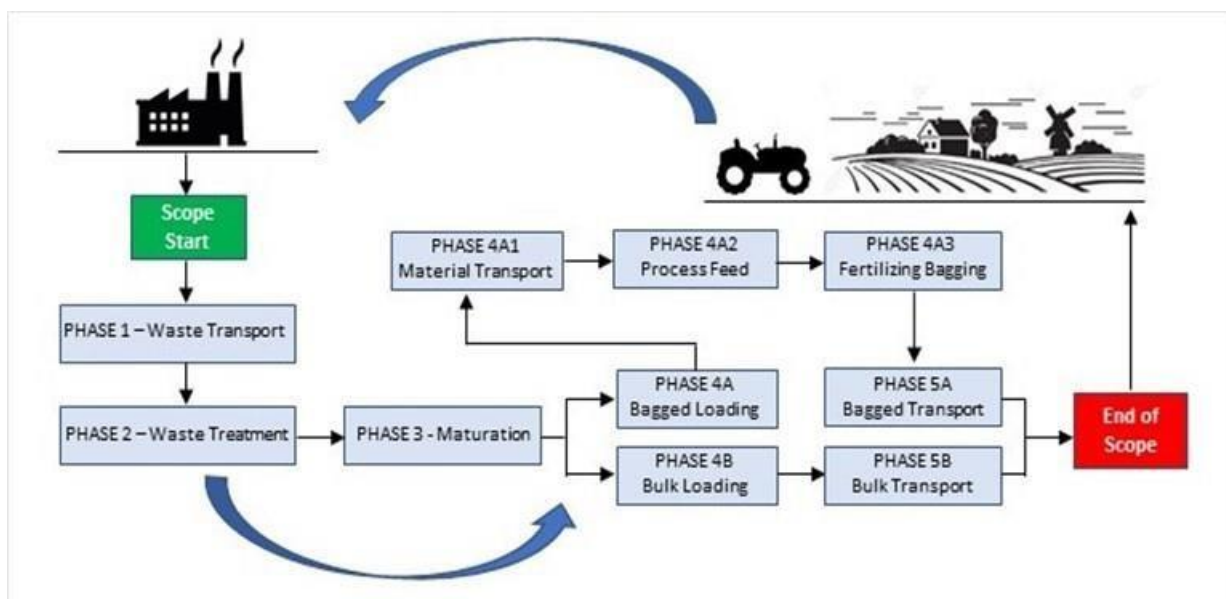


Figura 1: Fluxograma do Sistema de Compostagem em operação na FPA (**Fonte:** Autores).

2.2 Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

O inventário foi realizado acessando a base de dados da FPA e o acompanhamento do processo in loco. Atualmente, cada carga recebida é pesada e os dados alimentam um software com todas as informações necessárias para monitoramento e prestação de contas às empresas associadas e ao órgão ambiental local. Esta ferramenta possibilita a geração de relatórios com filtros específicos para cada tipo de resíduo, período e sua destinação final. O software foi implantado em abril de 2017, portanto, para a operação nos moldes atuais, foram considerados os dados dos últimos 3 anos completos de utilização do software, de julho de 2017 a junho de 2020. Desta forma obteve-se o maior número de dados possível e também os mais atuais.



A Tabela 1 mostra a caracterização das demandas do processo produtivo do adubo orgânico, resultante do Sistema de Compostagem, no período de três anos. Os resíduos tratados pelo sistema, que podem ser considerados também como matérias-primas do processo, são a cinza de caldeira e o pó de tabaco. O processo demanda grande quantidade de água para umidificação, repicagem e dosagem do consórcio de microrganismos responsável pela aceleração do processo de degradação do material.

Para o processo de repicagem dos microrganismos são utilizados como substrato o leite em pó e o melaço de cana, considerados insumos do processo. Os equipamentos ligados à rede elétrica de alta tensão, utilizados no tratamento e no ensacamento do adubo orgânico representam a demanda energética do processo. As movimentações do material tratado para as áreas de maturação, processo de revolvimento e carregamento são realizadas com máquinas carregadeiras de grande porte, movidas a óleo Diesel S10, portanto a demanda do processo por combustíveis fósseis também é considerada. No entanto, dados de emissões atmosféricas não fazem parte do escopo de trabalho.

A estimativa de adubo orgânico produzido, após o tratamento, nos períodos estudados também é apresentada na Tabela 1. O cálculo para a obtenção deste volume é baseado na quebra de 20% no volume do material após o período de maturação. O consórcio de microrganismos utilizado no tratamento tem patente registrada e constitui segredo industrial sendo, portanto, sua contabilização considerada como parte integrante do volume de água utilizado no tratamento.

Tabela 1: Inventário de ACV do Sistema de Compostagem da FPA nos períodos

Recurso	Detalhe	Unidade medida	Período			TOTAL
			2017-2018	2018-2019	2019-2020	
Água + Microrganismos	Poço artesiano	m³	2224,35	2321,62	2933,28	7479,25
Combustível	Óleo Diesel S10	L	12193,78	14196,61	16800,00	43190,39
Energia Elétrica	Rede + Usina Fotovoltaica	KWh	33461,0	34903,0	37528,1	105892,1
Insumos Tratamento	Leite em pó	kg	781,67	745,07	713,11	2239,86
	Melaço de cana	kg	17099,13	16298,47	15599,26	48996,86
Matéria-Prima	RSI-Cinza de caldeira	t	413,71	444,33	442,84	1300,88
	RSI-Pó de tabaco	t	13510,77	13453,57	13505,96	40470,30
Produto	Adubo Orgânico (-20%)	t	11139,58	11118,32	11159,04	33416,94

Fonte: Arquivo-FPA.

O adubo orgânico gerado pelo Sistema de Compostagem é resultado da pesquisa de profissionais de uma das empresas mantenedoras da FPA. Durante muito tempo, a disposição do resíduo cru de tabaco diretamente no solo (incorporação em solo agrícola) foi autorizada pelo órgão ambiental local. Com o aumento das restrições da legislação ambiental, não foram mais emitidas licenças em consonância com a disposição destes resíduos sem um tratamento prévio, visando a mitigação dos impactos nocivos ao meio ambiente.

Os pesquisadores associados deram início ao trabalho identificando e estudando os microrganismos presentes no resíduo cru e as condições em que se desenvolviam, visando sua reprodução em laboratório. Como resultado da pesquisa foi desenvolvido um consórcio de microrganismos que é multiplicado neste Sistema de Compostagem, a partir da adição de água, leite em pó e melaço de cana. Estes últimos são comumente utilizados como substratos de reforço para meios de cultura (VÉRA; DESVILLETES; BEC; BOURDIER, 2001) (CHENG; CORD-RUWISCH, 2013).

A equipe de pesquisadores da FPA e seus colaboradores são os responsáveis pela aplicação das instruções de repicagem do consórcio de microrganismos no Sistema de Compostagem. São considerados uma gama de microrganismos presentes no tratamento estudado, especialmente espécies como a bactéria *Zymomonas mobilis*, presente no caldo de cana, bebida apreciada na região nordeste do Brasil (NETO; BUZATO; CELLIGOI; OLIVEIRA, 2005) e que pode estar presente no melaço de cana utilizado como insumo. Por outro lado, um estudo que utilizou o leite em pó como substrato revelou grande afinidade deste com espécies de fungos ectomicorrízicos (NYGREN; EDQVIST; ELFSTRAND; HELLER et al., 2007), que provavelmente também se façam presentes neste Sistema de Compostagem.



As instruções de repicagem para 20, 200 e 2000 L são bem definidas junto aos colaboradores responsáveis pelo processo, que adicionam os ingredientes na proporção recomendada. Uma das razões que tornam o adubo um produto de constante padrão de qualidade é a manutenção das características do processo produtivo. Os microrganismos aceleram o processo de degradação dos resíduos, que na incorporação direta ao solo, ocorria de forma natural e mais lenta. Entretanto, o processo poderia obter ganhos de eficiência, caso algum tipo de pré-tratamento físico-químico fosse aplicado, principalmente ao melaço de cana, visando o aprimoramento de suas características (LI; ZHOU; KE; BAI et al., 2020), o que não é realizado atualmente.

3. RESULTADOS

Os resultados do estudo se dividem na elaboração do ICV com base na caracterização operacional baseada no FR de 130 t de resíduo tratado pelo Sistema de Compostagem. São apresentados os dados levantados a campo, durante o acompanhamento de cada uma das fases em que se propôs dividir a operação.

3.1 Caracterização Operacional e ICV

3.1.1 Fase 1 – Transporte dos Resíduos

Para a obtenção dos dados da Fase 1, foi realizado um levantamento das distâncias entre a área das cinco principais empresas geradoras de resíduos de tabaco até a FPA. Obteve-se o valor médio de 20,5 km para o percurso de ida e volta, que foi considerado nos cálculos. Os dados disponíveis e os veículos utilizados no transporte foram estudados para estimativa de capacidade de carga, distância total percorrida e consumo médio de combustível por km rodado. O FR foi definido em 130 toneladas de resíduos, capacidade média de uma leira de tratamento, conforme citado anteriormente. A Tabela 2 apresenta os dados obtidos.

Tabela 2: Detalhamento da Fase 1 – Transporte dos Resíduos

Fase 1 - Transporte dos Resíduos	OBS	Unidade	Valor
Volume de resíduo - FR	Estimativa	t	130
Caminhão caçamba/rollon	Dados transportadores	-	-
Volume médio por carga	Estimativa	t	7,5
Quantidades de cargas	Estimativa	Unid	17
Distância média percorrida por carga	5 empresas associadas	km	20,5
Distância total operação	Ida e Volta	km	355,33
Consumo médio combustível	Dados transportadores	km/L	3,0
Volume total de combustível	Estimativa	L	118,44
Valor do litro de óleo Diesel S10	Valor médio out/2020	R\$/L	3,018
Custo total com combustível	Estimativa	R\$	357,47

Fonte: Autores.

3.1.2 Fase 2 - Tratamento

Na Fase 2 ocorre o tratamento, com as operações de repicagem de microrganismos e dosagem nas leiras. O padrão pré-estabelecido de aplicação confere ao composto orgânico a manutenção de suas características. Com base nesta fórmula de dosagem e nos volumes de RSI processados, estimou-

Realização

ABES-RS PUCRS

UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL



abes-rs@abes-rs.org.br

(51) 999330700

www.abes-rs.org.br



se a quantidade total de insumos utilizados para os 3 anos do período estudado preliminarmente e para o FR de 130 toneladas. Estudos anteriores comprovam os benefícios ao solo que advém da incorporação de resíduos de culturas agrícolas com adição de consórcios microbiológicos (DE CORATO, 2020).

O volume de água necessário para a produção foi estimado através da medição da vazão do sistema de dosagem na área de tratamento e acesso aos dados de monitoramento do poço artesiano que abastece a rede.

Após a dosagem do consórcio de microrganismos, que pode levar em média 10 horas, dependendo das características do material, o composto é retirado das leiras e transportado para a área de maturação por meio de máquinas carregadeiras de médio porte (Carregadeira 300). Nesta operação é consumido óleo Diesel S10, cujo volume total é estimado com base no banco de dados da FPA.

A demanda de energia elétrica da Fase 2 foi calculada com base na potência de cada equipamento elétrico componente do sistema. Para formação das pilhas de composto orgânico, utiliza-se a esteira elevatória, também ligada à rede elétrica, cujo consumo foi calculado também com base na ficha técnica do equipamento. Os dados obtidos para a Fase 2 estão resumidos na Tabela 3.

Tabela 3: Detalhamento da Fase 2 - Tratamento

Fase 2 – Tratamento	OBS	Unidade	Valor
Volume de resíduo – FR	Estimativa	t	130
Energia elétrica	Revolvedor e Bombas	KWh	235,36
Vazão do sistema hidráulico	Estimativa	L/h	2731,15
Volume total de água	Estimativa	m³	32,77
Insumo - Leite em pó	Estimativa	kg	6,93
Insumo - Melaço de cana	Estimativa	kg	151,67
Tempo total tratamento	Estimativa	h	10
Capacidade de carga/concha- Carregadeira 300	Retirada dos resíduos	t	1,4
Quantidade de conchas	Formação das pilhas	Unid	93
Tempo estimado/concha transportada	Estimativa	min	3,5
Tempo total retirada do material	Estimativa	h	5,42
Consumo médio combustível - Carregadeira 300	Estimativa	L/h	10,6
Volume total de combustível	Estimativa	L	57,42
Valor do litro de óleo Diesel S10	Valor médio out/2020	R\$/L	3,018
Custo total com combustível	Estimativa	R\$	173,28
Energia elétrica	Esteira elevatória	KWh	26,75
Tempo formação das pilhas	Estimativa	h	3,5
Tempo total da operação	Estimativa	h	18,92
Valor do Kwh de energia elétrica	Valor médio out/2020	R\$/KWh	0,42
Custo total com energia elétrica	Estimativa	R\$	110,09

Fonte: Autores.

3.1.3 Fase 3 - Maturação

Na etapa de maturação do composto orgânico, é onde ocorre o tratamento em si. As pilhas de composto podem medir até 4 metros de altura e são degradadas pelos microrganismos num processo que pode ser definido como fermentação em estado sólido (FAN; XIANG; YU; CHEN et al., 2020). Considerou-se que nesta etapa tenha sido transcorrido metade do período necessário para a maturação completa do composto.

Portanto, nesta fase, o FR sofre uma primeira redução de volume: das 130 toneladas iniciais para 117 toneladas, o que significa uma quebra no volume inicial de 10%, ou seja, metade do período de maturação.

Além do consumo de grandes volumes de água para o processo de tratamento (Tabela 4), consumo humano e lavagem de maquinário, há também demanda para controle de focos de incêndio nas



pilhas de composto. Estes eventos são registrados normalmente em meados da etapa de maturação do composto. Nesta fase a temperatura no interior das pilhas se aproxima dos 90C°, devido à intensa atividade microbiológica. Atualmente, este calor não é passível de ser aproveitado em nenhum processo da FPA, no entanto, estudos atestam a viabilidade de reaproveitamento do calor em sistemas paralelos, evitando o desperdício de energia térmica (NEUGEBAUER; HAŁACZ; OLKOWSKI, 2021).

Além do aumento da temperatura, ocorre a liberação de álcool, graças ao processo de degradação dos açúcares presentes no melaço de cana. Portanto o risco de incêndio do material é real, o que demanda o revolvimento das pilhas e até umidificação como medidas de segurança. Foi estimado que 10% do volume total de água demandado é utilizado no resfriamento das pilhas.

A demanda energética desta etapa leva em conta somente o combustível da máquina carregadeira. Não se utiliza a esteira elevatória, optando pela formação de pilhas mais baixas, já que o material mais pesado por conta da umidade pode danificar o equipamento. A Tabela 4 apresenta o detalhamento dos dados da Fase 3.

Tabela 4: Detalhamento da Fase 3 - Maturação

Fase 3 - Maturação	OBS	Unidade	Valor
Volume composto orgânico - FR	Estimativa	t	117
Volume médio de resíduo tratado	Estimativa	t/ano	14000,0
Volume total de água demandada	Estimativa	m³/ano	3529,49
Volume total de água para resfriamento da pilha	Estimativa	m³	2,95
Capacidade de carga/concha - Carregadeira 300	Estimativa	t	1,5
Quantidade de conchas	Revolvimento das pilhas	Unid	78
Tempo estimado/concha transportada	Estimativa	min	2
Tempo total da operação	Estimativa	h	2,60
Consumo médio combustível - Carregadeira 300	Estimativa	L/h	10,6
Volume total de combustível	Estimativa	L	27,56
Valor do litro de óleo Diesel S10	Valor médio out/2020	RS/L	3,018
Custo total com combustível	Estimativa	RS	83,18

Fonte: Autores.

3.1.4 Fase 4 - Expedição

Após completar o período de maturação, o composto pode ser considerado pronto e já perdeu mais 10% do volume inicial, totalizando os 20% da estimativa inicial. Nesta fase, portanto, trabalha-se com um FR de 104 t. O material torna-se um adubo orgânico com registro e certificação para produção orgânica. O monitoramento constante exigido nas licenças garante um produto de qualidade, compatível com a legislação nacional (BRASIL, 2006b);(BRASIL, 2009);(BRASIL, 2014).

Considerado apto para a comercialização, o produto é aprovado para expedição (Fase 4), que se divide em dois cenários distintos, pois os carregamentos podem ser na opção pelo adubo ensacado (Fase 4A) ou a granel (Fase 4B), dependendo da necessidade do produtor.

3.1.5 Fase 4A – Carregamento ensacado

A Fase 4A, compreende três etapas distintas: movimentação do material dos pavilhões de armazenamento para o pavilhão de ensacamento (Fase 4A1); alimentação do funil da linha de ensacamento (Fase 4A2); e ensacamento e carregamento do adubo em sacos de 45 kg (Fase 4A3). As Tabelas 5, 6 e 7 detalham as subdivisões da Fase 4A.

A primeira etapa, Fase 4A1, consiste na movimentação do produto com a utilização da máquina carregadeira. O material é retirado da área de maturação e transportado ao pavilhão de ensacamento. Os dados estimados nesta fase já são conhecidos, levando em conta apenas o consumo de óleo Diesel S10 e o tempo estimado para a operação.



Tabela 5: Detalhamento da Fase 4A1– Carregamento Ensacado - Movimentação

Fase 4A1 - Carregamento Ensacado - Movimentação	OBS	Unidade	Valor
Volume adubo orgânico - FR	Estimativa	t	104
Capacidade de carga/concha - Carregadeira 300	Estimativa	t	1,4
Quantidade de conchas	Estimativa	Unid	74
Tempo estimado/concha transportada	Estimativa	min	2
Tempo total da operação	Estimativa	h	2,48
Consumo médio combustível - Carregadeira 300	Estimativa	L/h	10,6
Volume total de combustível da operação	Estimativa	L	26,25
Valor do litro de óleo Diesel S10	Valor médio out/2020	R\$/L	3,018
Custo total com combustível	Estimativa	R\$	79,22

Fonte: Autores.

A segunda etapa, Fase 4A2, pode ser considerada semelhante, pois trata-se da alimentação da linha de ensacamento. A única diferença significativa é a máquina carregadeira de menor porte utilizada (carregadeira 180), que confere mais agilidade à operação e cuja capacidade de carga da concha e consumo médio de combustível também foram analisados. O adubo é coletado das pilhas e introduzido no funil da linha de ensacamento.

Tabela 6: Detalhamento da Fase 4A2– Carregamento Ensacado - Alimentação

Fase 4A2 - Carregamento Ensacado - Alimentação	OBS	Unidade	Valor
Volume adubo orgânico – FR	Estimativa	t	104
Capacidade de carga/concha - Carregadeira 180	Estimativa	t	0,45
Quantidade de conchas	Estimativa	Unid	231
Tempo total da operação	Estimativa	h	8,7
Consumo médio combustível - Carregadeira 180	Estimativa	L/h	5
Volume total de combustível da operação	Estimativa	L	43,50
Valor do litro de óleo Diesel S10	Valor médio out/2020	R\$/L	3,018
Custo total com combustível	Estimativa	R\$	131,28

Fonte: Autores.

Por fim a etapa de ensacamento, Fase 4A3, composta por uma série de equipamentos ligados à rede elétrica. Todas as características de potência dos equipamentos para os cálculos de estimativa de consumo de energia foram obtidas das fichas técnicas dos mesmos. O fluxograma da Figura 2 ilustra o processo de ensacamento do produto.

Tabela 7: Detalhamento da Fase 4A3– Carregamento Ensacado – Ensacamento

Fase 4A3 - Carregamento Ensacado - Ensacamento	OBS	Unidade	Valor
Volume adubo orgânico - FR	Estimativa	t	104
Energia elétrica	Linha de ensacamento	KWh	88,5
Volume de adubo por saco plástico	Estimativa	kg	45
Saco plástico	Insumo	Unid	2311
Linha de costura	Insumo	cm	693333
Linha de costura	Insumo	M	6933
Rolo de linha	Insumo	Unid	1,5
Tempo total da operação	Estimativa	h	8,7
Valor do KWh	Valor médio out/2020	R\$/KWh	0,42
Custo total com energia elétrica	Estimativa	R\$	37,17

Fonte: Autores.



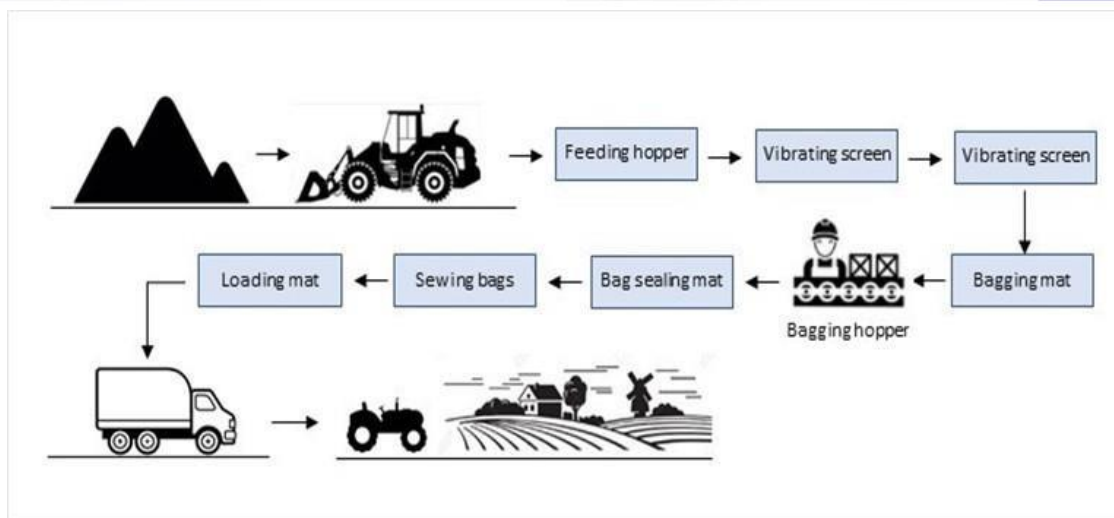


Figura 2: Fluxograma da linha de ensacamento do adubo orgânico na FPA.

3.1.6 Fase 4B – Carregamento a Granel

Baseando-se em dados de campo, o carregamento a granel da Fase 4B é realizado com máquina carregadeira, cujos dados mantêm-se os mesmos já citados. A única exceção é o peso do resíduo por concha da máquina, que retorna ao patamar inicial (1,4 t), pois o produto final apresenta menor teor de umidade.

Os veículos utilizados para transporte foram estudados com relação à capacidade de carga, visando estimar o tempo necessário para a operação, bem como o consumo de combustível. As 104 t do FR demandam aproximadamente 4 veículos com carreta basculante para a operação, conforme dados da Tabela 8.

Tabela 8: Detalhamento da Fase 4B – Carregamento a Granel do adubo orgânico

Fase 4B - Carregamento a Granel	OBS	Unidade	Valor
Volume adubo orgânico - FR	Estimativa	t	104
Caminhão carreta basculante	Capacidade carga	t	26,6
Quantidade de cargas	Estimativa	Unid	4
Capacidade de carga/concha - Carregadeira 300	Estimativa	t	1,4
Quantidade de conchas/carga	1 carreta	Unid	19
Total de conchas/4 carretas	4 carretas	Unid	74
Tempo estimado por carregamento	1 carreta	h	0,57
Tempo total da operação	4 carretas	h	2,22
Consumo médio combustível - Carregadeira 300	Estimativa	L/h	10,6
Volume total de combustível da operação	4 carretas	L	23,48
Valor do litro de óleo Diesel S10	Valor médio out/2020	R\$/L	3,018
Custo total com combustível	4 carretas	R\$	70,88

Fonte: Autores.

3.1.7 Fase 5 – Transporte do adubo orgânico

A Fase 5 se divide em dois cenários: transporte de adubo ensacado (Fase 5A) e transporte de adubo a granel (Fase 5B). Consideram-se para ambas as etapas os dados estimados pelo acompanhamento das operações a campo na FPA e os dados dos transportadores a respeito de capacidade de carga e consumo médio de combustível dos veículos. A distância do percurso foi



considerada para um município localizado a 37,5 km de distância, que se caracteriza pela intensa atividade agrícola e que tradicionalmente investe na aplicação do adubo orgânico. As Tabelas 15 e 16 detalham os dados destas etapas.

O volume de saídas de produto ensacado (Fase 5A) vem apresentando declínio nos últimos anos. No entanto, esta alternativa ainda é muito importante, principalmente no fornecimento para pequenos produtores, em áreas menores e de topografia mais acidentada, que não possuem equipamentos para descarga e espalhamento do produto. O produto ensacado em embalagens de 45 kg se torna atrativo pela facilidade de estocagem e mobilidade.

Para o transporte do produto ensacado, foi considerado um veículo de menor capacidade de carga, que normalmente é utilizado nas operações. Do ponto de vista logístico, se torna uma desvantagem, pois são necessárias 8 viagens para transportar o volume de 104 t do FR. Por outro lado, o veículo de menor porte é mais eficiente do ponto de vista de consumo de combustível. Mesmo assim a operação não apresenta viabilidade econômica se comparada com a outra alternativa de transporte estudada, conforme dados da Tabela 9.

Tabela 9: Detalhamento da Fase 5A – Transporte do adubo orgânico ensacado

Fase 5A -Transporte Ensacado	OBS	Unidade	Valor
Volume adubo orgânico - FR	Estimativa	t	104
Capacidade de carga estimada - Caminhão	Truck carroceria	t	13
Quantidade de cargas	Estimativa	Unid	8
Distância considerada	Ida	km	37,5
Distância total por viagem	Ida e Volta	km	75
Distância total da operação	Ida e Volta	km	600,0
Consumo médio combustível - Caminhão	Dados transportadores	km/L	3,0
Volume total de combustível da operação	Estimativa	L	200,00
Valor do litro de óleo Diesel S10	Valor médio out/2020	R\$	3,018
Custo total com combustível	Estimativa	R\$	603,60

Fonte: Autores.

Ao contrário do que ocorre com a comercialização do produto ensacado, as saídas a granel (Fase 5B) só aumentam com o passar dos anos. Esta é uma operação de relativa importância para os controles de estoque de material. Como nem todas as empresas mantenedoras utilizam ou revendem o adubo, a cada safra processada, significativo volume excedente permanece estocado, o que gera mais custos e riscos para a operação, com a necessidade de revolvimento constante e envolvimento de pessoal para controle dos focos de incêndio nas pilhas. Este risco é agravado, pelas altas temperaturas do verão.

A saída de carregamentos a granel também representa ganhos logísticos, pois permite o planejamento da safra seguinte, após a liberação de espaço físico nos pavilhões de armazenamento, bem como a realização de manutenções na estrutura, se necessário.

Os veículos mais viáveis para esta operação são caminhões com carretas basculantes, com capacidade de mais de 25 t de carga. Desta forma são necessárias aproximadamente quatro viagens do conjunto para transportar as 104 toneladas do FR, uma economia de quase 60% somente em combustível, mesmo estes veículos sendo mais pesados e apresentando maior consumo por km rodado. Os dados da Tabela 10 comprovam a viabilidade logística e econômica, em comparação com a alternativa anterior.



Tabela 10: Detalhamento da Fase 5B – Transporte do adubo orgânico a granel

Fase 5B - Transporte a Granel	OBS	Unidade	Valor
Volume adubo orgânico - FR	Estimativa	t	104
Capacidade de carga estimada - Caminhão	Carreta basculante	t	26,6
Quantidade de cargas	Estimativa	Unid	4
Distância considerada	Ida	km	37,5
Distância total por viagem	Ida e Volta	km	75
Distância total da operação	Ida e Volta	km	293,23
Consumo médio combustível - Caminhão	Dados transportadores	km/L	2,5
Volume total de combustível da operação	Estimativa	L	117,29
Valor do litro de óleo Diesel S10	Valor médio out/2020	R\$	3,018
Custo total com combustível	Estimativa	R\$	353,99

Fonte: Autores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de gerenciamento coletivo de RSI oriundos do processamento do tabaco na Unidade estudada já está consolidado e provou ser uma alternativa de tratamento que promove o desenvolvimento sustentável. Sua característica de fluxo circular, recebendo os resíduos, efetuando o seu tratamento e convertendo-o no adubo orgânico que retorna à cadeia produtiva do tabaco, traz benefícios nas três esferas clássicas do conceito de desenvolvimento sustentável: Ambiental, principalmente por conta dos produtos evitados da adubação química; Econômica, graças ao retorno financeiro proporcionado às mantenedoras e formação de capital para investimento em melhorias no sistema; e por fim, embora não seja o foco, o Social também é contemplado, em virtude da geração de empregos, renda e qualificação dos recursos humanos inseridos na operação.

A viabilidade operacional de centrais como esta, bem como a aplicação de estudos desta natureza só é possível graças à gestão coletiva, organização das informações e a manutenção de um banco de dados completo. As análises estatísticas e os inventários bastante detalhados corroboram estas considerações. As informações obtidas são cruciais para tomada de decisões futuras e alocações de recursos em melhorias no processo. Recomenda-se a manutenção e aprimoramento constante das informações, que poderá embasar pesquisas futuras.

Com relação aos impactos ambientais da operação, há muito o que ser feito, sendo este trabalho apenas uma análise geral do processo. Recomenda-se para estudos futuros a inclusão dos elementos estruturais, a medição das emissões atmosféricas ao longo processo, bem como estudos mais aprofundados em relação à pegada hídrica por exemplo. A inclusão dos dados de análise de nutrientes e metais presentes no adubo orgânico também traria riqueza de dados, no sentido de detalhar os produtos evitados pelo uso do produto.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Ao PPGTA, FAPERGS, CNPq, Projeto Agroner.

5. REFERÊNCIAS

RIO GRANDE DO SUL. Estatuto da Fundação de Proteção Ambiental-FPA. Página da Fundação de Proteção Ambiental - FPA. Santa Cruz do Sul-RS. <http://www.fupasc.com.br/Home/Servicos>: Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul - Procuradoria de Fundações.: 12p. p. 2008.

FEPAM. Licença de Operação 03773/2019, referente ao Processo Administrativo nº 449-05.67/17.1: Central de RSI Classe I, Fundação de Proteção Ambiental-FPA. Página da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler - FEPAM. Porto Alegre-RS.

Realização

ABES-RS PUCRS

UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

 abes-rs@abes-rs.org.br
 (51) 999330700
 www.abes-rs.org.br



<http://www.fepam.rs.gov.br/licenciamento/area3/lista1.asp?buscar=2&tipoBusca=cpfcnpj&cpfcnpj=02878272000114> Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler: 9p. p. 2019a.

FEPAM. Licença de Operação 03055/2020, referente ao Processo Administrativo nº 485-05.67/20.6: Compostagem de Resíduo Industrial Classe IIA, Fundação de Proteção Ambiental - FPA. Página da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler - FEPAM. Porto Alegre-RS. <http://www.fepam.rs.gov.br/licenciamento/area3/lista1.asp?buscar=2&tipoBusca=cpfcnpj&cpfcnpj=02878272000114>: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler.: 5p. p. 2020a.

OMS. Tobacco industry interference with tobacco control. Organização Mundial da Saúde. Geneva, Switzerland, p. 46. 2009.

ALVARENGA, D.; SILVEIRA, D. "Desemprego cai para 11,6% em outubro, mas ainda atinge 12,4 milhões, diz IBGE.". Portal G1, São Paulo e Rio de Janeiro, Brasil. <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/11/29/desemprego-fica-em-116percent-em-outubro-diz-ibge.ghtml>, 2019. Acesso em: 04/12/2019.

KIST, B. B.; DE CARVALHO, C.; BELING, R. R.; TREICHEL, M. et al. Anuário Brasileiro do Tabaco 2019. Santa Cruz do Sul-RS, Brasil: Editora Gazeta Santa Cruz: 132 p. 2019.

RODRIGUES, C. "Indústria do tabaco: o setor mais forte da economia de Venâncio Aires.". Folha do Mate. Venâncio Aires, RS, Brasil. <https://folhadomate.com/noticias/gente-negocios/industria-do-tabaco-o-setor-mais-forte-da-economia-de-venancio-aires/>, 2019. Acesso em: 10/01/2020.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União-DOU: República Federativa do Brasil: 18 p. 2010.

ABNT. NBR ISO 14.040: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro-RJ, Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT: 10 p. 2001.

ABNT. NBR ISO 14.044: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro-RJ, Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT: 52 p. 2009.

QIN, Z.; SUN, M.; LUO, X.; ZHANG, H. et al. Life-cycle assessment of tobacco stalk utilization. Bioresource Technology, 265, p. 119-127, 2018/10/01/ 2018.

KHALILI, N. R.; EHRLICH, D.; DIA-EDDINE, K. A qualitative multi-criteria, multi stakeholder decision making tool for sustainable waste management. Progress in Industrial Ecology, An International Journal, 8, n. 1-2, p. 114-134, 2013.

KIST, B. B.; DOS SANTOS, C. E.; DE CARVALHO, C.; TREICHEL, M. et al. Anuário Brasileiro do Tabaco 2016. Santa Cruz do Sul, RS, Brasil: Editora Gazeta Santa Cruz: 132 p. 2016.

VÉRA, A.; DESVILETTES, C.; BEC, A.; BOURDIER, G. Fatty acid composition of freshwater heterotrophic flagellates: an experimental study. Aquatic Microbial Ecology, 25, n. 3, p. 271-279, 2001.

CHENG, L.; CORD-RUWISCH, R. Selective enrichment and production of highly urease active bacteria by non-sterile (open) chemostat culture. Journal of industrial microbiology & biotechnology, 40, n. 10, p. 1095-1104, 2013.



NETO, D. C.; BUZATO, J. B.; CELLIGOI, M. A. P. C.; OLIVEIRA, M. R. Otimização da produção de etanol por *Zymomonas mobilis* na fermentação do melaço de cana-de-Açúcar. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, 26, n. 1, p. 17-22, 2005.

NYGREN, C. M. R.; EDQVIST, J.; ELFSTRAND, M.; HELLER, G. et al. Detection of extracellular protease activity in different species and genera of ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 17, n. 3, p. 241-248, 2007.

LI, Q.; ZHOU, Y.; KE, C.; BAI, Y. et al. Production of Welan gum from cane molasses by *Sphingomonas* sp. FM01. *Carbohydrate Polymers*, p. 116485, 2020.

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. *Production*, 26, n. 1, p. 160-175, 2016.

DE CORATO, U. Agricultural waste recycling in horticultural intensive farming systems by on-farm composting and compost-based tea application improves soil quality and plant health: A review under the perspective of a circular economy. *Science of the Total Environment*, 738, Oct 2020.

FAN, B.; XIANG, L.; YU, Y.; CHEN, X. et al. Solid-state fermentation with pretreated rice husk: Green technology for the distilled spirit (Baijiu) production. *Environmental Technology and Innovation*, 20, 2020. Article.

NEUGEBAUER, M.; HAŁACZ, J.; OLKOWSKI, T. A compost heating solution for a greenhouse in north-eastern Poland in fall. *Journal of Cleaner Production*, 279, 2021. Article.

BRASIL, R. F. Instrução Normativa MAPA nº 27: estabelece os limites para as concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas em fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes a serem produzidos, importados ou comercializados em território nacional. *Diário Oficial da União-DOU*, 09/06/2006, nº 110, seção 1, páginas 15 e 16.: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA.: 2 p. 2006a.

BRASIL, R. F. Instrução Normativa nº 25: aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura, na forma dos Anexos à presente Instrução Normativa. *Diário Oficial da União-DOU*, de 28/07/2009, Brasília-DF.: Presidência da República. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA.: 20-24 p. 2009.

BRASIL, R. F. Decreto nº 8.384, de 29 de dezembro de 2014: altera o anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o regulamento da Lei nº 6.984, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. *Diário Oficial da União-DOU*, nº 252, de 30/12/2014.: Presidência da República, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA.: 24 p. 2014.

NUNES, Ó. S. Análise do Ciclo de Vida de Produtos Lácteos - Caso de Estudo do Queijo da Beira Baixa. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial.: Universidade da Beira Interior - Faculdade de Engenharia: 122 p. 2018.

GOMES, R. T.; PICOLI, J. F.; MARTINS, M.; CAPPUCIO, L. P. et al. Avaliação do Ciclo de Vida de Fertilizantes: Fase de Uso. VIII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica - CIIC, Campinas, São Paulo: 7 p. 2014.





**12º Simpósio
Internacional de
Qualidade
Ambiental**

**Data do Evento:
04, 05 e 06/11/2024**

**TEMA:
Desafios e soluções
ambientais na
adequação aos
critérios ESG**

MARTIN, M.; POULIKIDOU, S.; MOLIN, E. Exploring the environmental performance of urban symbiosis for vertical hydroponic farming. Sustainability (Switzerland), 11, n. 23, 2019. Article.

Realização



ABES-RS

PUCRS



abes-rs@abes-rs.org.br

(51) 999330700

www.abes-rs.org.br

