

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ALINE CAFRUNI GULARTE

**Procedimento de análise de risco e econômico-financeira para
implementação de sistemas circulares interorganizacionais: um estudo de
resíduos de borracha de calçados**

Porto Alegre

2022

Aline Cafruni Gularte

**Procedimento de análise de risco e econômico-financeira para
implementação de sistemas circulares interorganizacionais: um estudo de
resíduos de borracha de calçados**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Acadêmica, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Dra. Istefani Carísio de Paula

Porto Alegre

2022

Aline Cafruni Gularte

**Procedimento de análise de risco e econômico-financeira para
implementação de sistemas circulares interorganizacionais: um estudo de
resíduos de borracha de calçados**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dra. Istefani Carísio de Paula

Orientador PPGEP/UFRGS

Prof. Alejandro Germán Frank

Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Professora Ana Paula Beck da Silva Etges, Ph.D. (PPGEPI/UFRGS)

Professora Ghissia Hauser, Dra. (PPGECI/UFRGS)

Professora Joana Siqueira de Souza, Dra. (PPGEP/UFRGS)

“Ainda que a minha mente e o meu corpo enfraqueçam, Deus é a minha força, ele é tudo o que sempre preciso. (Salmo 73:26)”

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades. A esta universidade que me proporcionou um ensino de qualidade com o excelente corpo docente que compõem o PPGE. Agradeço a todos os professores que souberam se reinventar com a pandemia e não deixaram que o ensino perdesse a qualidade e em especial a professora Márcia Echeveste pelas parcerias extras ao decorrer do mestrado e professora Joana quem me deu um super apoio na análise desta dissertação.

Aos amigos/colegas que conquistei durante toda a minha trajetória, que infelizmente por estarmos diante a uma pandemia não tivemos a oportunidade de nos conhecermos pessoalmente, somente no primeiro dia de apresentação do curso que pude trocar uma ideia com alguns. Sucesso a todos.

Agradeço também à empresa Hélice Consultoria local onde surgiu o assunto deste trabalho. A todos os envolvidos neste trabalho, em especial Ghissia Hauser, superamiga, querida, atenciosa, com quem aprendi muito, e a Fabiane Sum quem conduziu o estudo e nos ensinou muito sobre análise de viabilidade econômico-financeira. Obrigada meninas pela paciência e todo o ensinamento. E aos integrantes do estudo Samuel Bonatto e demais colegas. O meu muito obrigada.

Agora um SUPER agradecimento a uma grande amiga, incentivadora, apaixonante pelo seu trabalho e pelas pessoas, não desistindo nunca de acreditar em seus alunos e sempre nos tratando como seus verdadeiros filhos. Ela sempre acreditou no meu potencial e me incentivou a não desistir dos meus sonhos, por mais diversos que são, não só se interessava em trabalhar comigo, mas estava atenta a minha vida, a minha saúde tanto física quanto mental. Momentos de muita tristeza, angústia e incertezas do que seria o meu destino ela estava lá, me mandando áudio com sua voz doce, tranquila trazendo uma mensagem de fortaleza e oração. Uma pessoa iluminada sem igual. Uma orientadora que “pega junto”, não deixando o aluno de lado. Istefani Carísio de Paula, você certamente mudou a vida de muitas pessoas como tem mudado a minha. Você é muito especial. O meu muito, muito, muito obrigada.

Agradeço a todos os meus amigos que sempre compreenderam a minha ausência nesses últimos anos e torceram por mim. À empresa a qual trabalho atualmente SAMET Projetos, obrigada a todos os colegas e ao chefe Vinicius, grande incentivador no nosso crescimento profissional e de vida. Obrigada galera por tudo amor, carinho e felicidades diárias em estar com vocês.

Aos meus pais, Luiz e Georgina, que me deram um ensino de qualidade. Que sempre estiveram ao meu lado. Principalmente à minha mãe, minha melhor amiga, que não tenho nem palavras para expressar o quão importante ela sempre foi pra mim. Ao meu irmão Álan e cunhada Caroline que sempre se preocuparam com os meus estudos, são a minha fonte de inspiração. Eles me ensinaram a importância de sempre desejar a melhorar profissionalmente. Obrigada por me amarem muito e sempre se preocuparem comigo. Agradeço também a quem foi meu companheiro e atual amigo, que esteve até o final do mestrado comigo diariamente sentindo e vivendo a intensidade de cada momento, obrigada Gardel Flores, certamente o carinho e dedicação que você teve foi essencial para que eu chegasse até o final. O meu muito obrigada. E por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação. O meu muito obrigada!

Artigos publicados a partir dos resultados da presente dissertação

Trabalho publicado em congresso nacionais e internacionais

GULARTE, A. C.; ECHEVESTE, M. E.; PAULA, I. C. R-Quality Plan: proposta de uma ferramenta de aprendizagem para traduzir e controlar requisitos de projeto por meio de dashboard, p. 1046-1060. In: **Anais do 13º Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento do Produto**. São Paulo: Blucher, 2021. ISSN 2357-7592, DOI 10.5151/cbgdp2021-3130

PAULA, I.C.; **GULARTE, A.C.**; PAULA, I.R.C.; BRUNETTO, V.T.; MORAES, T.C.; JAEGER, J.P. FREITAS, F.B. Decision Matrix for development of new demand-driven Inter-organizational Circular Economy systems. **Book of Abstracts. International Conference on Resource Sustainability – icRS** – Dublin-Ireland, p. 65, 2021.

PAULA, I.C.; HAUSER, G.; **GULARTE, A. C.**; PAULA, I. R. C. E; JAEGER, J. P. M.; "A Economia Circular gera oportunidades para as cadeias produtivas impactadas pela pandemia? uma perspectiva brasileira", p. 343-354. In: **Anais do 13º Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento do Produto**. São Paulo: Blucher, 2021. ISSN 2357-7592, DOI 10.5151/cbgdp2021-3101

RESUMO

A tarefa de conceber um sistema circular não é trivial. A própria decisão sobre quais empresas incorporar em um sistema circular interorganizacional nascente é um desafio. Neste caso, gestores ingressam em um projeto de longo prazo a partir da cooperação entre as organizações e da confiança mútua ao compartilhar seus modelos de negócios, o que traz complexidade à estruturação do sistema. Diante de tal complexidade, observa-se a necessidade de quantificação dos benefícios e impactos obtidos em tais sistemas, por meio de indicadores e ferramentas de suporte à tomada de decisão, por racionalizarem o processo decisório, trazendo visibilidade, transparência e aumentando a relação de confiança entre os *stakeholders*. O conceito de colaboração é intrinsecamente dependente da existência de confiança e transparência entre as partes. Os benefícios desse tipo de colaboração incluem reduções nos custos de transação, aumentos no compartilhamento de recursos, aprendizagem e compartilhamento de conhecimento, podendo levar a um melhor desempenho econômico-financeiro, ambiental e social. Esta dissertação tem como objetivo desenvolver um procedimento para análise econômico-financeira e de risco financeiro com o propósito de auxiliar os membros de sistemas circulares interorganizacionais nascentes a avaliar se o sistema trará ganhos mútuos para as partes envolvidas, ao longo dos diferentes estágios do projeto. A metodologia utilizada foi de *Design Science Research*. Este procedimento resultou no desenvolvimento de um instrumento de análise de viabilidade econômico-financeira possibilitando analisar os indicadores financeiro e de riscos para cada membro deste sistema, sendo passível de realizar análise de sensibilidade, cenários e simulação de Monte Carlo. O caso estudado foi do sistema circular piloto do resíduo de borracha de calçados, o qual é composto por uma empresa Investidora, contratante do estudo, empresa de Logística (responsável pelo transporte entre os elos do sistema), Triagem, Reciclagem (moer o resíduo de borracha) e Transformadora (cria um novo produto, a partir da matéria-prima moída). O instrumento proposto tem como vantagem de realizar simulações de valores para as variáveis incluídas no modelo. Mesmo sem ter realizado investimentos vultosos, os membros do sistema terão uma base para refletir de forma conjunta e encontrar caminhos alternativos em direção a melhores resultados financeiros. Permitindo também, visualizar o sistema como um todo e individualmente por membro, identificando qual o membro que está sendo mais ou menos prejudicado. Por fim, o estudo possibilitou diagnosticar a situação econômico-financeira do sistema circular para buscar alternativas de como torná-lo viável.

Palavras-chaves: Sistema Circular Interorganizacional. Resíduo de Borracha de Calçado. Análise de viabilidade Econômico-Financeira. Indicadores.

ABSTRACT

The task of designing a circular system is not trivial. The very decision about which companies to incorporate into a newborn interorganizational circular system is a challenge. Managers enter into a long-term project based on cooperation among organizations and mutual trust in sharing their business models. Given the complexity of the process, it is necessary to measure the benefits and impacts of circular systems, with the aid of decision-making tools. This research aimed to develop a procedure for economic-financial analysis and evaluation to support decisions at the very beginning of an inter-organizational circular system. The purpose is to assure mutual gains for all stakeholders involved in the circular system. The research methodology was Design Science Research. This procedure resulted in the development of an economic-financial feasibility analysis instrument to analyze the indicators of each member in the system and the interdependencies among them. We performed a risk and sensitivity analysis, and Monte Carlo simulation on the data. The manufacturer of rubber flip flops invested in the pilot system including the following players: the sorting company, the logistics organization, and the Transformer (who creates a new product, from the grounded recycled rubber from flip flops). The proposed instrument is useful for performing simulations of costs and revenues for the variables included in the model. Even without having made significant investments, the members of the system will have a basis to reflect together and find alternative paths toward a better financial result. It also allows viewing the system as a whole and individually by member, identifying which member is being more or less harmed. Finally, the study made it possible to diagnose the economic and financial situation of the circular system to seek alternatives on how to make it viable.

Keywords: Interorganizational Circular System. Rubber flip flop. Residue. Economic-Financial Feasibility Analysis. Indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxos trocados entre empresas do sistema de Simbiose Industrial de <i>Kalundborg</i> na Dinamarca	21
Figura 2. Base <i>Web of Science</i> - Total de publicações no período de 2015 a 2022.....	22
Figura 3. Esboço do Sistema Circular interorganizacional piloto do calçado de borracha	36
Figura 4. Fases e etapas da metodologia <i>Design Science Research (DSR)</i>	38
Figura 5. Representação das abas da planilha de AVEF	43
Figura 6. Cálculos da AVEF para cada ator do sistema circular piloto (abas 3 a 6)	46
Figura 7. Indicadores da AVEF por ator.....	47
Figura 8. Representação do resultado da Análise de Sensibilidade realizada no Excel	48
Figura 9. Representação do resultado de análise de cenários realizada no Excel	48
Figura 10. <i>Inputs e outputs</i> da Simulação de Monte Carlo.....	49
Figura 11. Sistema interorganizacional piloto para coleta e transformação de resíduos pós-consumo de borracha expandida de calçados	52
Figura 12. Recorte da Figura 11. Início do Sistema com o membro consumidor	55
Figura 13. Diagrama de valores percebidos pelos gestores das empresas membro do sistema e sobreposições	58
Figura 14. Indicadores da Análise de Viabilidade Econômico-Financeira	64
Figura 15. Resultados da Análise de Sensibilidade	66
Figura 16. Resultados da Análise de Cenários	67
Figura 17. <i>Inputs e outputs</i> da Simulação de Monte Carlo.....	68
Figura 18. Resultado da simulação para a empresa Triadora	70
Figura 19. Resultado da simulação para a empresa Transformadora	71
Figura 20. Integração das etapas da metodologia do sistema circular com as da Análise de Viabilidade Econômico-Financeira.	72

LISTA DE TABELAS

Quadro 1. Comparação entre estudos que aplicaram análise de viabilidade econômico-financeira	29
Quadro 2. Descrição dos perfis dos especialistas dos sistemas circulares	40
Quadro 3. Premissas do sistema circular interorganizacional piloto de calçado de borracha	44
Quadro 4. Descrição dos perfis das empresas membro do sistema circular interorganizacional.....	53
Quadro 5. Descrição dos papéis e percepção de valor dos gestores das empresas membro do sistema	57
Quadro 6. Premissas de custos e ganhos dos membros dos sistemas.....	61

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. TEMA, PREMISSAS E QUESTÃO DE PESQUISA	16
1.2. OBJETIVOS.....	17
1.3. JUSTIFICATIVA.....	17
2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	20
2.1. ECONOMIA CIRCULAR E SISTEMAS INTERORGANIZACIONAIS	20
2.2. DESEMPENHO ECONÔMICO-FINANCEIRO DE PROJETOS DE ECONOMIA CIRCULAR	27
2.3. DESEMPENHO ECONÔMICO-FINANCEIRO DE PROJETOS E RISCOS	25
2.4. SISTEMAS CIRCULARES NO SEGMENTO DE CALÇADOS	31
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	35
3.1. UNIDADE DE PESQUISA	35
3.2. MÉTODO DE PESQUISA	37
3.3. MÉTODO DE TRABALHO	37
4. RESULTADOS	4
5. IMPLICAÇÕES DO ESTUDO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
6. OPORTUNIDADES PARA TRABALHOS FUTUROERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
REFERÊNCIAS	78
APÊNDICE	87

1. INTRODUÇÃO

Em sua publicação de 2009, “*Confessions of a Radical Industrialist: profits, people, purpose – doing business by respecting the Earth (...)*”, o empresário Ray Anderson afirmava que para *Wall Street* a expressão ‘meio ambiente’ significava ‘custos’ (ANDERSON, 2009, p. 41). No entanto, a resistência às práticas sustentáveis veio se reduzindo na última década graças à ousadia de empresários líderes, como Ray Anderson, que demonstram como a implementação da sustentabilidade tempo potencial para reduzir o desperdício e economizar dinheiro.

A literatura revela múltiplos casos nos quais as estratégias gerenciais em direção à sustentabilidade se diversificam, intensificam e geram bons resultados. A AT&T®, por exemplo, empresa de telefonia norte americana e IBM® declararam economias de U\$550 mi/ano e U\$700 mi/ano, respectivamente, por implementarem trabalho remoto em 2009, muito antes dos resultados obtidos com esta prática durante a pandemia COVID-19. O programa “*Fuel Sense*” da FedEx® em 2007, consistiu na substituição de aeronaves Boeing 757 por 777, causando redução de 18% no consumo de combustíveis e aumento de 20% na capacidade de transporte. Além disso, vans híbridas foram usadas em substituição aos caminhões e demonstraram 42% mais eficiência. A P&G® desenvolveu novos produtos de limpeza para uso a frio, como o projeto “*Tide Coldwater*” reduzindo o consumo energético na Europa, como demonstram Nidumolu, Prahalad e Rangaswami (2009).

Em paralelo a essas iniciativas, os empresários estão enfrentando as consequências financeiras de não agir sob a bandeira da sustentabilidade, seja porque têm sido pressionados pelos consumidores ou por acordos como o “*Green Deal*” Europeu, que determina que até 2050 todos os estados membros deverão ter economias circulares na Europa. No mesmo prazo, o plano de descarbonização visa alcançar emissões líquidas zero nos EUA, por pressão dos setores financeiro e bancário. Por um lado, os governantes de países têm implementado regulamentações, como impostos sobre o carbono, por outro lado os setores financeiro e bancário integraram novas regras em seus critérios de financiamento, como os relatórios ESG.

Os relatórios ESG referem-se à divulgação de dados que abrangem as operações da empresa em três áreas: ambiental (*environmental-E*), social (*social-S*) e governança (*governance-G*) corporativa. Eles fornecem um instantâneo do impacto do negócio nessas três áreas para os investidores. Empresas com forte desempenho ESG demonstraram maiores retornos sobre seus investimentos, menores riscos e melhor resiliência durante uma crise (GIESE, 2019). Em julho de 2020, 90% das empresas no S&P 500 já haviam publicado seus relatórios anuais de sustentabilidade corporativa (S&P 500, 2021). O relatório ESG exemplifica

de que modo métricas podem auxiliar os investidores a evitarem empresas que possam representar um risco financeiro maior, devido ao seu desempenho ambiental não adequado, outras práticas sociais ou governamentais não conformes (FRIEDE; BUSCH; BASSEN, 2015). Conforme descrito por Anderson (2009), dez anos atrás, uma exigência desta natureza proveniente do mercado financeiro seria improvável.

Para que as partes interessadas (*stakeholders*) evitem as más condições de empréstimo e a exclusão dos mercados de capitais, torna-se necessário mostrar evidências de ter desenvolvido estratégias robustas de sustentabilidade e ESG. Por estas razões, o ambiente cultural de negócios para desenvolvimento de sistemas produtivos circulares encontra-se muito propício. Mesmo no Brasil, onde problemas macroeconômicos, de cultura empresarial e de infraestrutura básica ainda se interpõem às políticas ambientais e acordos (PAULA et al., 2021a), a temática da Economia Circular (EC) vem ganhando espaço na agenda dos gestores de empresas de maior porte e popularidade, como as Alpargatas® s.a. O programa global “Havaianas reCICLO” exige o projeto de todo um novo sistema de coleta e transformação da borracha do solado de chinelos em novos produtos que retornem ao sistema produtivo.

Segundo a *Ellen MacArthur Foundation* (MACARTHUR, 2015), a EC é: “... uma economia que é restaurativa e regenerativa por princípio e tem como objetivo manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo, fazendo distinção entre ciclos técnicos e biológicos”. A EC se fundamenta em três princípios: eliminar o lixo e a poluição; circular produtos e materiais no seu valor mais alto e regenerar a natureza. A EC é descrita em diferentes níveis de complexidade para fins de avaliação de desempenho, desde a circularidade de apenas um produto (nano); a circularidade em nível de uma organização (micro); a circularidade entre organizações (meso), cidades, regiões ou globalmente (macro). A complexidade é decorrente da exigência de diferentes modos de produção, dos novos modos de consumo e a intensa colaboração entre as partes envolvidas. Trata-se de uma forma inovadora de pensar em um mundo produtivo ainda linear, e gera oportunidade para os pesquisadores e gestores desenvolverem procedimentos de transformação de um sistema linear em sistema circular, ou mesmo, métodos para desenvolver sistemas circulares originais, desde a sua concepção (KERDLAP, 2020).

Neste estudo, deseja-se analisar os desafios do engajamento e colaboração para a construção de sistemas circulares nascentes, a exemplo do caso da borracha de calçados. Considerando uma abordagem circular de final de tubo (*end-of-pipe approach*), a transformação de borracha de calçados pré-consumo (resíduo industrial) ou pós-consumo em novos produtos, pressupõe o desenho da logística reversa considerando um novo conjunto de

empresas (sistema circular interorganizacional). Este sistema deve ser capaz de operar a coleta, logística, triagem, higienização, trituração da borracha e transformação desta em novos produtos vendáveis que, ao final da vida, retornem também a seu sistema de origem ou a algum outro sistema produtivo, evitando o descarte no meio ambiente. Essa lógica na qual um resíduo serve de matéria-prima (recurso) para outro processo produtivo vem do conceito de ‘Simbiose Industrial’¹(SI) (anos 1970) e está alinhado ao segundo princípio da EC, que pressupõe circular produtos e materiais no seu mais alto nível e por mais tempo possível (CHERTOW, 2000; CHERTOW, 2007; CHERTOW AND PARK, 2016; NEVES et al., 2020).

A tarefa de conceber um sistema circular não é trivial. A própria decisão sobre quais empresas incorporar em um sistema circular interorganizacional nascente é um desafio (PAULA et al., 2021b.). Os gestores precisam ter alinhamento em relação ao modelo de sustentabilidade. Estes gestores ingressam em um projeto de longo prazo a partir da cooperação entre as organizações e da confiança mútua ao compartilhar seus modelos de negócios, o que traz complexidade à estruturação do sistema (VELENTURF; PURNELL, 2021).

Tal problemática é reforçada por Kerdlap et al. (2020) em uma revisão sistemática de literatura a respeito de avaliações de desempenho de sistemas de simbiose industrial (SI). Em um sistema interorganizacional ou de SI há muitas partes interessadas envolvidas na implementação e gerenciamento de operações, como formuladores de políticas, planejadores urbanos, empresas individuais, economistas e gestores das empresas (Switzerland Federal Office for the Environment, 2014). Cada tipo de *stakeholder* está interessado em medir o desempenho de uma parte específica do sistema, levando em consideração seus objetivos de negócio particulares. Assim, o desempenho do sistema pode ser avaliado tanto em nível de rede (desempenho global), quanto em nível de empresa individual (cada empresa membro do sistema) ou em nível de recursos (fluxos de materiais trocados).

Kerdlap et al. (2020) apontam que as ferramentas *Life Cycle Assessment* (LCA) e *Life Cycle Cost* (LCC) têm sido utilizadas em conjunto ou de forma individual para mensurar o desempenho ambiental e econômico de sistemas interorganizacionais e de SI. Estes autores afirmam que a falta de estudos em custos em sistemas interorganizacionais justifica a

¹ A Simbiose Industrial (SI) é uma forma de operacionalizar a economia circular inteorganizacional. Surgiu nos anos 1970 no contexto da Ecologia Industrial e constrói atividades simbióticas interfirmas com o objetivo de incentivar as indústrias que normalmente são separadas a cooperar e criar uma vantagem competitiva através da troca de os resíduos e subprodutos de uma empresa com os de outra empresa (CHERTOW, 2000; CHERTOW, 2007; CHERTOW AND PARK, 2016; NEVES et al., 2020).

necessidade de mais pesquisas nesta área, tanto em nível de rede quanto de empresa individual, para quantificar potenciais trocas entre as partes interessadas. Martin et al. (2015) reforçam esta percepção argumentando que embora exista muita pesquisa empregando LCA em sistemas interorganizacionais, poucos estudos analisam como as conversões dos resíduos em recursos impactam os negócios e o desempenho individual das empresas.

Kerdlap et al. (2020) revelam que as ferramentas de engenharia econômica também são aplicadas para análise do desempenho econômico de sistemas interorganizacionais, porém em menor quantidade do que as avaliações ambientais do LCA e de custos do LCC. De fato, usando a perspectiva da engenharia econômica, foram encontrados na literatura estudos de avaliação de viabilidade econômico-financeira de sistema circular urbano, visando aproveitamento de resíduos orgânicos das cidades em sistemas de compostagem (BEKCHANOV; MIRZABAEV, 2018); análise de viabilidade de planta de biogás (LEE, 2017); análise de viabilidade de um sistema aquapônico no mediterrâneo (ASCIUTO et al., 2019). Nenhum destes estudos tratavam de sistemas interorganizacionais.

Observa-se a necessidade de quantificação dos benefícios e impactos obtidos em tais sistemas, por meio de indicadores e ferramentas de suporte à tomada de decisão. As ferramentas racionalizam o processo decisório, trazem visibilidade, transparência e aumentam a relação de confiança entre os gestores das empresas do sistema circular que está sendo projetado (DZHENGIZ, 2020; SAUKKO; AALTONEN; HAAPASALO, 2020). O conceito de colaboração é intrinsecamente dependente da existência de confiança e transparência entre as partes, conforme demonstrado em De Paula (2019) e em Dzhengiz (2020).

Os benefícios desse tipo de colaboração incluem reduções nos custos de transação, aumentos no compartilhamento de recursos, aprendizagem e compartilhamento de conhecimento, podendo levar a melhor desempenho econômico-financeiro, ambiental e social (CHAN; PRAKASH, 2012; KUMA; NATH BANERJEE, 2014; SCHOLTEN; SCHILDER, 2015).

Tomando como referência processos similares, um alinhamento entre os membros de uma cadeia de suprimentos para a colaboração e sustentabilidade, demanda altos níveis de compromisso, confiança e compartilhamento de informações, que são elementos essenciais para o desenvolvimento de colaboração em logística (POMPONI et al., 2015). De Paula et al. (2019) afirmam que a literatura tem listado alternativas que facilitam as relações de cooperação, incluindo métricas de avaliação de desempenho técnico, econômico-financeiro e de risco financeiro.

Entende-se risco por eventos futuros que podem representar tanto uma oportunidade como uma ameaça (HILLSON, 2002). Um risco sempre avaliado pelas empresas é o financeiro, em que são avaliados constantemente pela gestão empresarial e que são realizadas pesquisas de alerta antecipadas com resultados influenciados por fatores internos e externos à empresa (JIN; WANG; ZENG, 2018). Na literatura, é possível encontrar aplicações de análise de risco no contexto da economia circular, seja análises de riscos financeiros – riscos que envolvam recursos monetários - ou análises de riscos adversos – todos os demais riscos que não financeiros, isto é, podendo ser oportunidades ou ameaças (HILLSON, 2002).

1.1. TEMA, PREMISSAS E QUESTÃO DE PESQUISA

O tema de pesquisa desta dissertação é **análise de viabilidade econômico-financeira e de risco financeiro em projeto de um novo sistema circular interorganizacional** como meio para engajamento dos gestores no projeto. Ressalta-se que embora não será mencionado a partir deste ponto o termo “risco financeiro”, ele está implícito no procedimento de análise de viabilidade econômico-financeira.

A premissa subjacente ao propósito deste trabalho é que uma vez que medidas econômico-financeiras afetam a confiança em ambientes de produção colaborativos sustentáveis e de logística reversa (DE PAULA et al., 2019), também afetarão a confiança em ambientes colaborativos de EC, que são de natureza congênere. Além disso, se os resultados de negócio não estiverem desagregados ao nível de cada empresa individual, cada parte interessada não poderá ter acesso à informação necessária para avaliar seu próprio desempenho ambiental e econômico e, em última análise, decidir se está ou não engajado com o sistema (KERDLAP et al., 2020).

Entende-se que a transparência em relação a questões de viabilidade econômico-financeira pode ser usada como referência para estruturação de relações de mútuos benefícios e confiança entre os investidores de um sistema produtivo circular interorganizacional, ainda em fase de projeto (DE PAULA et al., 2019; PAULA et al., 2021b). Considera-se que sem confiança a colaboração não chega a se estabelecer e que, uma vez estabelecida, para manutenção das relações de colaboração deve haver relações de ganhos financeiros mútuos, claros e justos (denominado como mútuos benefícios – *win-win*) (DZHENGIZ, 2020; SAUKKO; AALTONEN; HAAPASALO, 2020).

Diante da contextualização apresentada e visando aprofundar a investigação sobre o estudo de viabilidade econômico-financeira de um sistema circular inteorganizacional, delineou-se para esta dissertação a seguinte questão de pesquisa:

QP – Quais adaptações podem ser feitas nos procedimentos de análise de viabilidade econômico-financeira visando a avaliação do desempenho de um sistema circular interorganizacional?

1.2. OBJETIVOS

O objetivo geral desta dissertação é desenvolver um procedimento para análise econômico-financeira e de risco financeiro que auxilie os membros de sistemas circulares interorganizacionais nascentes a avaliar se o sistema trará ganhos mútuos para as partes envolvidas, ao longo dos diferentes estágios do projeto.

Entende-se como objetivos específicos:

- a) assegurar que o procedimento proposto leve em consideração a interdependência existentes entre os membros de um sistema circular interorganizacional;
- b) identificar a percepção de valor dos membros/atores do sistema interorganizacional.

1.3. JUSTIFICATIVA

Os sistemas produtivos lineares vieram sendo desenvolvidos ao longo do século XX inicialmente de forma empírica. Posteriormente, evoluíram por meio de estudos sobre os processos de empresas e depois de suas cadeias de produção. O conhecimento gerado para analisar e atuar sobre estes sistemas está disponível na literatura e pode dar suporte ao desenvolvimento de sistemas circulares de forma racional e lógica. À exemplo disso, os conhecimentos da pesquisa operacional (PO) têm características horizontais, com suas contribuições estendendo-se por praticamente todos os domínios da atividade humana, da Engenharia à Medicina, passando pela Economia e a Gestão Empresarial (MOORE; WEATHERFORD, 2005).

O objetivo da PO é construir soluções globais e balanceadas definidas por múltiplos critérios e objetivos múltiplos e conflitantes, à exemplo do que ocorre nos sistemas produtivos circulares. Nestes contextos é necessário reduzir o risco e a incerteza modelando múltiplos cenários, analisando simultaneamente variáveis críticas. Ferramentas determinísticas e probabilísticas têm sido usadas, por exemplo, em estudos de logística reversa, conforme

demonstrado em estudos realizadas pelos pesquisadores do Núcleo de Inteligência em Projetos e Sistemas (NIPoS) - UFRGS (DE PAULA et al., 2019; DE CAMPOS et al., 2021).

O desempenho de uma cadeia de abastecimento impacta o desempenho financeiro de serviços e empresas, por isso é importante otimizar e analisar o desempenho das cadeias de abastecimento (LEE, 2017). Situação semelhante ocorre nos fluxos reversos e circulares. A análise de viabilidade técnica e econômica de novas soluções são frequentes, como demonstram os estudos envolvendo a sustentabilidade e a circularidade a seguir.

A análise financeira foi usada, por exemplo, para apoiar a decisão de implementar reciclagem de pneus no estudo de Dobrotã et al. (2020). Uma análise tecnoeconômica foi utilizada para demonstrar como o aumento na quantidade e frequência de florescimento de algas marinhas no Oceano Atlântico pode se transformar em um bem econômico, social e ambiental. O processo sugerido envolveu análise da colheita sustentável em navios do excesso de biomassa (MARX et al., 2021). Outro estudo avaliou a viabilidade técnica e econômica de obtenção de energia a partir da recuperação de materiais obsoletos por meio de processos de conversão termoquímica dos resíduos plásticos da desmontagem das luminárias, misturando os referidos resíduos plásticos em diferentes proporções com a biomassa dos resíduos culturais (HERMOSO-ORZÁEZ et al., 2020).

A associação de ferramentas de análise de viabilidade econômico-financeira, modelagem probabilística com outras ferramentas de mensuração da sustentabilidade também tem sido encontrada na literatura, com menos frequência. Embora tenha natureza distinta do estudo aqui proposto, Pergola et al. (2018) avaliaram a sustentabilidade da produção de composto de esterco de gado / búfalo em duas instalações agrícolas operando no sul da Itália e usando diferentes agentes de volume (lascas de madeira de *Short Rotation Forestry*, palha e resíduos de poda). Os autores combinaram avaliação do ciclo de vida (LCA), análise de energia e custo do ciclo de vida (LCC).

Análises econômico-financeiras de sistemas interorganizacionais são encontradas, como o estudo de Lee (2017) que estudou a viabilidade de uma planta de biogás. Da mesma forma, estudos com análise de risco em cadeias Mazhdakov et al. (2018) também é encontrado na literatura como em Minegishi e Thiel (2000). A associação da modelagem com análise de riscos financeiros e econômico-financeira parece ser uma estratégia interessante para apoiar a decisão durante a construção de sistemas produtivos circulares. Uma modelagem eficiente das associações e inter-relacionamentos entre as empresas do sistema é vital, pois um entendimento completo do comportamento das variáveis de custo e receita, frente ao efeito do ambiente externo. O sistema é a etapa chave para a otimização de seu desempenho. Um modelo

de referência pode ser criado inicialmente para representar a operação do sistema em condições normais.

Para este sistema o desempenho econômico-financeiro pode ser analisado com relação a uma série de indicadores-chave de desempenho. Por fim, Simulação de Monte Carlo auxiliará no entendimento do impacto das variáveis externas sobre os indicadores de desempenho, considerando múltiplos cenários. Entende-se que a combinação sugerida neste estudo pode gerar resultados que serão importantes para as decisões e realização de governança sobre o sistema circular.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentados os principais conceitos envolvidos na pesquisa, economia circular, sistemas interorganizacionais, governança e viabilidade econômico-financeira e riscos financeiros. O contexto da indústria calçadista será descrito e as suas relações com a economia circular.

2.1. ECONOMIA CIRCULAR E SISTEMAS INTERORGANIZACIONAIS

A economia circular (EC) apresenta-se como uma alternativa ao sistema linear tradicional, e conceitua-se, de acordo com MacArthur (2015, p.5), “como uma economia que é restauradora e regenerativa por princípio e visa manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo”. A EC também se caracteriza por utilizar fluxos cíclicos de materiais e fontes de energia renováveis (KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018) e enfatiza a ideia de transformar produtos de uma maneira que proporcione relacionamentos viáveis entre sistemas ecológicos e crescimento econômico (NASIR et al., 2017).

Dessa forma, a importância da EC está na mudança dos padrões de produção e consumo, abrangendo do início ao fim do ciclo de vida do produto, com foco nos três pilares da sustentabilidade: econômico, social e ambiental. Representa um caminho preventivo e regenerativo, contrário ao extrativismo, consumismo e descarte elevados em que o mundo está inserido, ainda que se encontre em um estágio inicial de implementação (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016; ELIA; GNONI; TORNESE, 2017). Vale ressaltar que a EC vem crescendo em várias esferas tanto no nível acadêmica como em empresas a fim de proporcionar sustentabilidade aliada a competitividade (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017).

Como a EC é um conceito amplo, inclui várias partes interessadas, esses interessados têm diferentes papéis na economia e na sociedade e, portanto, têm objetivos diferentes. Ao trabalhar em EC, é relevante identificar diferentes objetivos e planos de ação relacionados a cada *stakeholder* sendo preciso definir qual é o nível de análise apropriado. Para fins de avaliação de desempenho, o *World Business Council for Sustainable Development – WBCSD* (2018) classifica os sistemas de Economia Circular em quatro categorias:

- (i) **macro** (nível global, nacional, regional, municipal) este é o nível mais alto onde se incluem as cidades, países e agências internacionais;

- (ii) **meso** (nível interorganizacional) representa todas as redes interindustriais e interempresas, denominado de interorganizacional;
- (iii) **micro** (nível de uma única organização) este é o nível em que empresas e consumidores se posicionam; e
- (iv) **nano** (nível de produto) é o nível mais baixo de análise possível em que se encontram produtos e componentes. Nem todas as pesquisas e publicações incluem este nível, pois as metas e ações relacionadas devem ser tomadas com base nos níveis superiores (macro, meso ou micro).

Este estudo está focado no nível meso ou interorganizacional, que exige a troca de fluxos de materiais e informações entre instituições públicas ou privadas que são membros do sistema, e que, portanto, se baseia em colaborações entre partes interessadas (VELEVA; BODKIN, 2018; LIEDER; RASHID, 2016; WBCSD, 2018). Dessa forma, a sustentação de sistemas de EC, no contexto incerto e dinâmico em que se inserem, exige processos e estruturas que proporcionem aprendizagem e mudanças recíprocas, contínuas e coletivas (VELENTURF; PURNELL, 2021). A **Figura 1** ilustra os fluxos que são trocados entre os diferentes *stakeholders* de um sistema interorganizacional de Simbiose Industrial (SI).

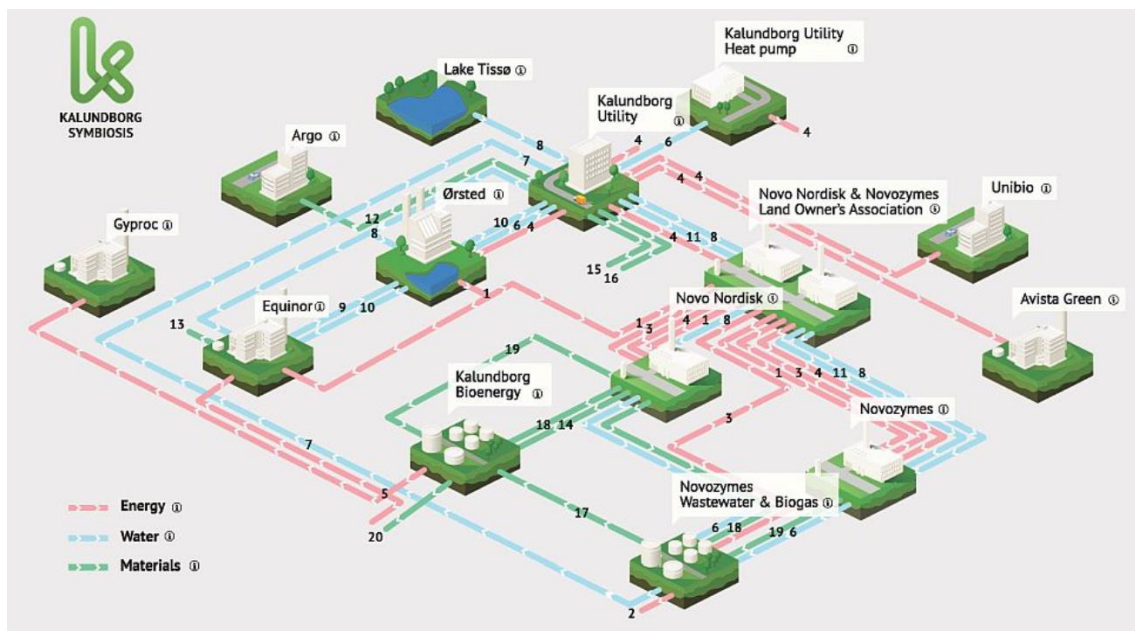


Figura 1. Fluxos trocados entre empresas do sistema de Simbiose Industrial de *Kalundborg* na Dinamarca

Fonte: symbiosis.dk, 2022.

A Simbiose Industrial é uma forma de operacionalização de sistemas circulares. *Kalundborg* é um exemplo clássico de como este tipo de estrutura pode efetivamente funcionar e foi implementado ao longo de 55 anos na Dinamarca (1961-2016).

Uma investigação da literatura na base de dados *Web of Science* revelou que entre os anos 2015 e 2022 (até o mês fevereiro) houve um crescimento rápido de revisões sistemáticas de literatura envolvendo a temática EC, totalizando 268 publicações no período (**Figura 2** e Apêndice A). Cerca de 39% destas revisões sistemáticas foram nas áreas de gestão (34), negócios (22), engenharia industrial (20), pesquisa operacional e gestão (14). A maior parte das revisões foram em ciências ambientais (143) e algumas destas em finanças (3).

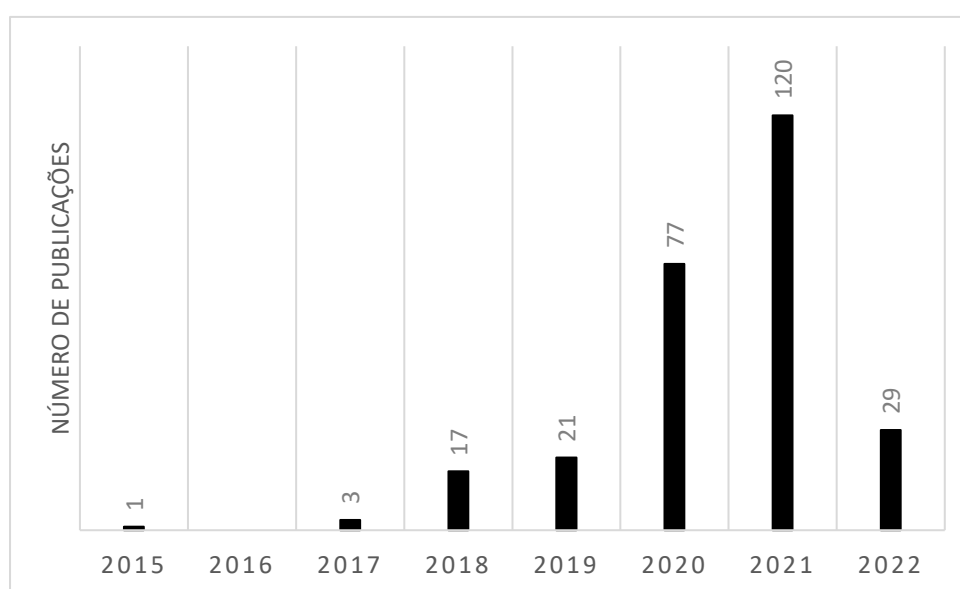


Figura 2. Base *Web of Science* - Total de publicações no período de 2015 a 2022

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

De acordo com Bressanelli, Perona e Saccani (2019), as revisões sistemáticas incluem diversos desafios de redesenho de cadeias de suprimentos para a circularidade e sua implementação. Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), por exemplo, examinaram a implementação da EC com foco especial em suas origens, princípios básicos, limitações, vantagens e desvantagens em diferentes níveis de implementação, desde uma única empresa até a regional ou nacional e a perda de controle dos usuários sobre os produtos. Em seu estudo, os riscos financeiros e operacionais estão entre as principais barreiras.

Estudo desenvolvido por Bressanelli, Perona e Saccani (2019) apontou sete categorias de desafios encontrados no redesenho de cadeias de suprimentos visando a implementação de EC: viabilidade econômico-financeira, mercado e concorrência, características do produto, padrões e regulamentação, gestão da cadeia de suprimentos, tecnologia e comportamento dos

usuários. Na categoria viabilidade econômico-financeira três desdobramentos específicos foram identificados e referem-se à adoção de modelos de negócio (MN) servitizados, onde a função é vendida em vez do produto em si, por meio de *leasing*, *pay-per-x*, *pay-per-performance*, *sharing*. Em primeiro lugar, quando as empresas decidem adotar MNs servitizados, devem levar em conta um descasamento temporal entre receita e fluxos de custos. Na verdade, os fornecedores que mudam sua oferta da venda da propriedade do produto para a venda da função precisam financiar os custos de capital da solução, uma vez que os fluxos de receita são postergados ao longo do tempo (BARQUET et al., 2013). Por sua vez, esta estratégia resulta em maior tempo de retorno, questionando a viabilidade econômico-financeira dos projetos de implementação de EC.

Além disso, quando ocorre a substituição de produtos por meio de MNs servitizados, os riscos financeiros e operacionais são transferidos dos usuários aos provedores (BAINES; LIGHTFOOT, 2013). Os provedores estão expostos financeiramente aos riscos de suspensão antecipada do contrato por parte dos clientes e, em vários casos, são responsáveis pelos custos operacionais da solução oferecida, por exemplo, devido a atividades de manutenção. Nesta dissertação o foco não está na substituição de produtos por serviços (estratégia alinhada com o primeiro princípio da economia circular), mas sim, no aproveitamento de resíduos provenientes de uma dada cadeia de produção e consumo (alinhado com o segundo princípio que visa estender a vida útil de materiais). Independente da estratégia de EC torna-se importante mensurar o desempenho destes sistemas.

Calzolari, Genovese and Brint (2022) revisaram indicadores de economia circular para cadeias de suprimentos e observaram que 80% dos estudos empregam indicadores econômicos, com clara prevalência de medidas baseadas em custos. Exemplos incluem o custo de produção, custo de transporte, custo de localização da instalação (ÖZCEYLAN; PAKSOY, 2013; DEV; SHANKAR; QAISER, 2020; PONTE et al., 2020). Outros exemplos de custos incluem as atividades de logística reversa da cadeia de suprimentos, os lucros associados às atividades de recuperação de materiais (BATISTA et al., 2019; JIN; ZHANG; LUO, 2019), incluindo remanufatura (ABDI et al., 2021), reciclagem (LI et al., 2019), e a qualidade dos produtos recuperados após o fim de suas vidas (JEIHOONIAN; ZANJANI; GENDREAU, 2017). Dentre as métricas estudadas, os índices baseados em Rentabilidade do Valor Presente Líquido, Retorno sobre o Patrimônio Líquido e Retorno sobre ativos corresponderam a um subconjunto menor, compreendendo 4% das métricas encontradas.

Outros aspectos que vem ganhando importância na EC são a segurança da informação e governança. Pelo fato de uma das exigências do sistema ser que seus atores compartilhem

informações de processos, custos, ganhos, compreende-se que a complexidade da gestão do fluxo de informações e sua segurança é refletida por essa diversidade de atores que por sua maioria tendem a ser resistentes à abertura de suas informações, seus interesses individuais e preferências ao participar do sistema, ocasionando um grau de dificuldade nos esforços de governança, gestão e tomada de decisão (SCHRODL; SIMKIN, 2014; KORNOHEN et al., 2018).

Cabe ressaltar que o termo governança pode ser associado a diferentes significados e contextos, e por esta razão, neste estudo de sistema circular interorganizacional adota-se a governança pela perspectiva da administração de empresas. A governança refere-se à estruturação do coletivo e a instrumentos de controle, no sentido de como serão coordenadas as ações entre os atores e a definição de regras, sanções e incentivos (BRAND; RIGONI; VERSCHOORE, 2014). Compreende os mecanismos de regulação e de tomada de decisão do sistema, garantindo os interesses dos atores e asseguramento do cumprimento das normas estabelecidas (WEGNER; DURAYSKI; VERSCHOORE, 2017). A governança também inclui outras práticas como elaboração de projetos-piloto, definição de indicadores de desempenho e campanhas de *marketing* sobre produtos remanufaturados (GOVINDAN; HASANAGIC, 2018).

No contexto da governança de sistemas circulares interorganizacionais estima-se que as análises de viabilidade econômicas e de riscos financeiros exercem um papel relevante. Servem de instrumento para geração de cenários do sistema, entendimento das relações de ganho, trazem visibilidade dos fluxos pela perspectiva financeira e provêm informações para tomada de decisão conjunta. A visibilidade de ganhos entre as instituições membro do sistema pode trazer engajamento dos gestores ou servir para planejamentos de como fazer com que o sistema traga resultados de ganhos justos aos participantes (ALBERS, 2005).

Albers (2005) denomina a governança de rede como um sistema de governança de segunda ordem, que não implica na substituição do sistema de governança das empresas participantes do sistema, mas significa que um novo nível de governança é adicionado. Este sistema de governança é criado pelas próprias empresas participantes, mas busca influenciar os gestores destas empresas a agir de maneira que suportem os objetivos da rede. Os mesmos participantes que definem o sistema de governança – as empresas da rede – são influenciados por ele.

2.2. DESEMPENHO ECONÔMICO-FINANCEIRO DE PROJETOS E RISCOS

A análise de investimentos busca, através de técnicas avançadas, a utilização da estatística e matemática financeira, para ajudar na tomada de decisão entre as soluções desenvolvidas da empresa. A utilização da Engenharia Econômica como um instrumento de análise de investimentos consiste no auxílio à tomada de decisão entre o tipo de investimento mais apropriado ao negócio, atribuindo um valor ao dinheiro no tempo (BLANK; TARQUIN, 2008). Conforme Blank e Tarquin. (2012), a avaliação de um projeto de investimento normalmente consiste em um conjunto de técnicas que buscam calcular parâmetros como o *Payback* (ou o Tempo de Recuperação do Capital Investido), a Taxa Interna de Retorno (TIR) ou o Valor Presente Líquido (VPL), que virão a auxiliar na escolha de um projeto.

Porém o método tradicional de Valor Presente Líquido (VPL) para analisar a rentabilidade econômica de um investimento (com base em uma abordagem determinística) não representa adequadamente o risco implícito associado a variáveis de entrada diferentes, mas correlacionadas (LOBOS, 2015). Desta forma, métodos estocásticos são frequentemente utilizados em conjunto com análises de viabilidade econômico-financeiras para tratar o risco associado às variáveis (CARMICHAEL; BALATBAT, 2008).

Entende-se risco por eventos futuros que podem representar tanto uma oportunidade como uma ameaça (HILLSON, 2002). Um risco sempre avaliado pelas empresas é o financeiro, em que são avaliados constantemente pela gestão empresarial e que são realizadas pesquisas de alerta antecipadas com resultados influenciados por fatores internos e externos à empresa (JIN; WANG; ZENG, 2018).

Os métodos quantitativos buscam quantificar o efeito do risco no projeto por meio de ferramentas como análise de sensibilidade, análise de cenários, árvore de decisão e Simulações de Monte Carlo (HILLSON, 2002). A análise de sensibilidade constitui em uma análise quantitativa probabilística que mede o efeito de alterar uma variável de entrada, através da análise do resultado do valor de saída (TSAIH, 1999). Cabe destacar que nestes casos não é avaliado o potencial de interação de mais de uma entrada. Para calcular o impacto relativo deve-se considerar a sensibilidade média relativa da saída para cada entrada mesmo que tenha interdependência das variáveis de entrada (STEIGER; SHARDA, 1995; NAIMIMOHASSES et al., 1995; TSAIH, 1999).

O método de Monte Carlo gera valores artificiais de uma variável probabilística e realiza muitas simulações para gerar valores para as variáveis de saída do modelo. Este procedimento de repetição leva a uma distribuição de valores que podem ser analisados

(ARNOLD; YILDIZ, 2015; PLATON; CONSTANTINESCU, 2014). Dessa forma, a Simulação de Monte Carlo estima funções matemáticas e imita as operações de um sistema complexo (HARRISON, 2010). Monte Carlo simula o projeto diversas vezes, fornecendo uma distribuição estatística dos resultados calculados sobre os impactos, no caso, econômicos, tornando possível analisar os resultados usando histogramas, intervalos de confiança e outros indicadores estatísticos resultantes da simulação (DINSMORE; CAVALIERI, 2003; PLATON; CONSTANTINESCU, 2014). Essa simulação de decisões econômicas pode ser aplicada a situações que incluem regras operacionais, políticas e procedimentos referentes à adaptação e controle de decisões e política de preços (PLATON; CONSTANTINESCU, 2014).

Na literatura, é possível encontrar aplicações de análise de risco no contexto da economia circular, seja análises de riscos financeiros – riscos que envolvam recursos monetários - ou análises de riscos adversos – todos os demais riscos que não financeiros, isto é, podendo ser oportunidades ou ameaças (HILLSON, 2002). Xu, Li e Wu (2009) desenvolveram um modelo de dinâmica de sistemas para planejar um sistema de economia circular regional e realizaram análise de sensibilidade para identificar as variáveis financeiras que mais impactavam o sistema. Utrilla, Gorecki e Maqueira (2020) criaram um *dashboard* aplicável na indústria da construção para medir como uma empresa implementa EC, por meio de indicadores de desempenho. Utilizaram Simulação de Monte Carlo para determinar os valores mais prováveis dos indicadores.

Acredita-se que a grande incerteza típica dos arranjos organizacionais que se estruturam para dar conta dos problemas de economia circular justificam o uso de ferramentas de análise de risco, como as mencionadas nesta seção, em conjunto com as análises de viabilidade econômico-financeiras.

A Engenharia Econômica apresenta um conjunto dos métodos utilizados nas análises de investimentos e das técnicas empregadas na escolha da melhor alternativa. (TAHA, 1996; ASSAF NETO, 2006). A análise pode ser dividida em três etapas, destacadas abaixo:

1. Coleta de dados referentes ao investimento para um horizonte de três anos, como investimento inicial, receitas brutas e custos totais, dentre outros;
2. Construção do fluxo de caixa incremental, representando os efeitos positivos e/ou negativos no caixa provocados pelo investimento;
3. Cálculo dos indicadores (Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno, *Payback* descontado e Índice de Rentabilidade), para atestar a viabilidade econômica do investimento.

2.3. DESEMPENHO ECONÔMICO-FINANCEIRO DE PROJETOS DE ECONOMIA CIRCULAR

Embora não seja o foco dessa dissertação, o tema estudado está na interface com pesquisas que tratam de novos formatos organizacionais. Autores como Parker e Stacey (1995), Stacey (1996), Holland (1997) e Axelrod e Cohen (2000) concordam que organizações são Sistemas Adaptativos Complexos (SACs) por sua não linearidade e sua capacidade de aprender, de gerar conhecimento e de se organizarem a si próprias. Empresas em momentos críticos de instabilidade, provocados por flutuações do ambiente, e reforçados por realimentações, representam bem os sistemas que desencadeiam o fenômeno do surgimento espontâneo de novos arranjos. As pressões impostas pela sustentabilidade, projetos de economia circular e logística reversa forçam o surgimento de novos formatos organizacionais, como as Redes Interorganizacionais. Este também é um comportamento coevolutivo, em que o sistema e seu ambiente se influenciam mutuamente (DIJKSTERHUIS et al., 1999; STACEY, 1996). Considerando-se que a estruturação destes arranjos organizacionais exige investimentos, os gestores das empresas envolvidas, invariavelmente, formulam questões tais como: “quem vai pagar a conta do sistema?”, “o sistema é viável?”, “a operação é economicamente sustentável ou pode vir a ser sustentável?”, “como eu posso ter resultado satisfatório em meu negócio?”.

A viabilidade econômico-financeira é um assunto da Engenharia Econômica que visa entender se a implementação de um projeto é viável (realizável) ou não interessante. Ela permite compreender a estrutura de custos e benefícios, permitindo visualizar ao final se o investimento trará resultados satisfatórios, dentro de um horizonte de tempo, a partir da sua implementação (FISU et al., 2020). Trata-se de uma análise para avaliar as condições financeiras e operacionais do projeto e entender sua futura condição. Björnsdóttir (2010) destaca que este tipo de análise deve ser conduzido antes de prosseguir com um projeto, pois é fundamental a determinação precoce de inviabilidade prevenindo perdas de dinheiro e de tempo. Considerando-se o arranjo organizacional como um projeto, entende-se que a análise de viabilidade econômico-financeira é um instrumento relevante para engajamento das partes envolvidas e resposta às perguntas formuladas pelos mesmos. O engajamento do gestor no sistema de empresas dependerá dos benefícios que o sistema poderá trazer ao seu negócio.

Na literatura é possível encontrar exemplos de aplicações de análises econômico-financeiras em sistemas circulares. Kerdlap, Low, Ramakrishna (2020) realizaram uma revisão sistemática da literatura para analisar estudos de avaliação ambiental e econômica do ciclo de vida de sistemas de simbiose industrial. Identificaram que as pesquisas referentes à área econômica costumam avaliar a viabilidade financeira, o valor presente líquido, a rentabilidade

ou o período de retorno das trocas específicas de resíduos para recursos ou da rede em geral. No entanto, os resultados demonstraram que predominam nos estudos a avaliação por meio do método *Life Cycle Cost* (LCC). Se comparados com estudos envolvendo a engenharia econômica, os autores afirmam que há necessidade de mais pesquisas nesta área, tanto em nível de desempenho do conjunto de empresas no sistema circular, quanto do desempenho de cada empresa individual.

Pode-se dizer que as análises do tipo LCC são usadas para avaliar todos os custos associados a um produto ao longo de todo o seu ciclo de vida (SWARR et al. 2011; REDDY et al., 2015). Diferentes métodos podem ser utilizados como modelos baseados em matrizes para análise de produtos únicos; modelo de valor agregado que soma a margem de lucro ao longo de todo o ciclo de vida de um produto ou serviço (MOREAU; WEIDEMA, 2015). O modelo LCC pode ser usado para calcular o Valor Presente Líquido (VPL), taxa interna de retorno, custo total de propriedade e uma análise de custo-benefício (KERDLAP; LOW; RAMAKRISHNA, 2020). A metodologia LCC pode levar em conta impactos ao meio ambiente, mas isso geralmente é expresso em termos do custo financeiro das externalidades ambientais. Estas características o tornam apropriado para análise de projetos de sistemas circulares como um todo, mas Kerdlap et al. (2020) argumentam que a literatura não deixa claro como fazer as análises individuais de cada empresa membro, por meio do LCC.

As análises de viabilidade econômico-financeiras, por sua vez podem ser aplicadas às situações de investimento individuais das empresas membro, sem grandes dificuldades. Por outro lado, como avaliar o resultado do investimento do sistema como um todo? Estudos encontrados na literatura, estavam voltados para análises de viabilidade de sistemas circulares em nível micro (envolvendo o processo de uma empresa), como demonstrado a seguir.

Asciuto et al. (2019) avaliaram a viabilidade financeira de sistema micro (nível de empresa), por meio da determinação do Retorno Líquido e do Ponto de Equilíbrio, de um sistema aquapônico, coletando dados técnicos, econômicos e de produção de uma planta aquática piloto. Lee (2017) analisou a viabilidade financeira da atualização do biogás para biometano, geração de calor, calor e energia combinados (CHP) e alcalino com regeneração (AwR), a partir de oito cenários e análises de sensibilidade. Bekchanov e Mirzabaev (2018) desenvolveram um modelo de otimização econômica para avaliar o impacto e a viabilidade financeira da produção e comercialização de compostos, para reduzir os custos de gestão de resíduos, de compostagem e de fornecimento de fertilizantes químicos.

O Quadro 1 traz uma comparação entre os estudos encontrados na literatura.

Quadro 1. Comparação entre estudos que aplicaram análise de viabilidade econômico-financeira

Ano	Autor	Região Estudo	Tipo de sistema	Natureza	Tipo de análise	Indicadores
2020	Dobrota et al.	Romênia	Nano (produto)	Borracha de pneu	Análise financeira dos processos de reciclagem	Consumo de energia e os custos; Valor presente líquido e taxa interna de retorno financeiro.
2020	Hermoso-Orzáez et al.	Portugal	Macro (entre municípios)	Resíduos plásticos de luminárias; Biomassa agrícola		Tempo de vida; custos operacionais; Preço da eletricidade produzida e consumida; Investimentos; Tempo de operação.
2020	Kerdlap, P.; Low, J. S. C.; Ramakrishna, S.	Sem limite geográfico	Interorganizacional (Simbiose industrial)	Revisão sistemática de literatura	Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) e Custo do Ciclo de Vida (LCC); Análise de multinível.	
2019	Asciuto et al.	Mediterrâneo	Micro (empresa única)	Agro (aquapônia) alimentos orgânicos	Análise de sensibilidade	Retorno Líquido; Ponto de Equilíbrio; Itens que contribuem para o investimento (planejamento, construção e implantação; custos operacionais; Receitas de vendas.
2018	Eriksson et al.	Suécia	Interorganizacional (Simbiose industrial)	Gás natural e combustível	Payback; Análise de Risco	custos de investimento. Os custos de capital eram equipamentos e tubos. Os custos de operação foram a economia de gás natural e os custos de compra de combustível.
2018	Bekchanov e Mirzababev	Sri Lanka	Macro (entre municípios)	Agrícola - compostagem e fertilizantes químicos	Modelo de otimização econômica (função de minimização de custo); Análise multicritério	Custo; Taxa de resíduo reciclado doméstico; Custo de transporte; VPL; WACC; TIR; Payback; Custo Médio do Benefício do Índice.
2017	Pierie et al.	Holanda	Interorganizacional (Simbiose industrial)	Laticínio; Energia Renovável	Análise de sensibilidade; LCA	Custos de capital (instalação, sistema de digestão), custos de operação, receita, inflação de preços, diferentes taxas de impostos e subsídios; Quatro indicadores de sustentabilidade (eficiência energética, pegada de carbono, impactos ambientais e custos)
2017	Lee	Taiwan	Nano (produto)	Biogás; Biometano	Método de economia de engenharia modificado; Análise de	VPL (npv); TIR; Razão de custo-benefício; Ponto de Equilíbrio; Payback; TMA.

					ciclo de via econômico; sensibilidade (8 cenários); e, risco	
2015	Duraccio et al.	Itália	Interorganizacional (Simbiose industrial)	Energia (Usina de açúcar)	Análise tecnológica e econômica	Custo nivelado da eletricidade da usina com e sem carbono, captura e custos de armazenamento e operação do forno, insumos materiais e transporte de carbono capturado. Custos de CO2 evitado incluídos.
2015	Moreau and Weidema	Sem limite geográfico	Nano (produto)	Metodológico	Método para a construção de um modelo baseado em matriz para a realização de um LCC de produtos únicos.	Custos de produção de um produto, custo do uso e custo do descarte. Valor agregado.
2012	Jung et al.	Coréia do Sul	Micro (Empresa metalúrgica)	Placas de circuito impresso (Resíduos de soluções ácidas e alcalinas)	LCC; Análise de sensibilidade; Análise de correlação e regressão - Previsão da tendência do preço do cobre.	Custo de aquisição; Custo operacional; Custo de manutenção; Custo de salvamento.
2010	Lim and Park	Coréia do Sul	Micro (Fábrica)	Rede de água - Otimização de um sistema de abastecimento de água (fábrica) e reuso (parque industrial)	LCA e LCC	Valor presente; Valor futuro; Taxa de escalação; Taxa de desconto; Tempo

Conforme apresentado no **Quadro 1**, foram levantados, no período de 2010 a 2021, 12 estudos referentes a análise econômico-financeiro de sistemas circulares. Estudos estes que foram realizados em sua maioria na Ásia e Europa, envolvendo materiais de diversas naturezas, como materiais agrícolas, resíduos de placas de circuito e borracha de pneu. Um montante de 33,33% destes estudos é voltado a sistemas interorganizacionais, em sua maioria realizando análises como sensibilidade, Avaliação de Ciclo de Vida (LCA) e Custo do Ciclo de Vida (LCC). No que diz respeito a indicadores da análise de viabilidade econômico-financeira, os autores calcularam em seus estudos o VPL, TIR, *Payback*, especialmente nos contextos voltados para os níveis de produto (micro e nano). Os estudos em contextos interorganizacionais incluíram análise de sensibilidade, riscos e tecnológica. Custos específicos relacionados ao produto estudado também foram levantados como base para o cálculo dos indicadores.

Observa-se que no levantamento realizado não se encontrou um exemplo completo mostrando como proceder a AVEF de um sistema interorganizacional.

2.4. SISTEMAS CIRCULARES NO SEGMENTO DE CALÇADOS

No âmbito da indústria calçadista, esta é classificada como de transformação, sendo o calçado um bem de consumo não durável cujo desenvolvimento e fabricação obedece, principalmente, ao mercado da moda (SANTOS, 2008). Suas dinâmicas econômicas se dão por meio de relações históricas, mas também pelas novas determinações políticas e econômicas da atualidade (JÚNIOR; SAMPAIO, 2020). O Brasil, segundo dados da ABICalçados (2020), possui grande destaque, especialmente fora de eixos do sul e sudeste asiáticos, estando como 4º maior produtor em 2019. Nesse ano, foram produzidos 908,2 milhões de pares, o que representa um faturamento total de 23,9 bilhões de reais e um aumento de 0,4% de pares produzidos em 2018.

Além disso, a indústria de calçados no Brasil é uma das que mais emprega trabalhadores, recrutados para linhas de produção dentro de fábricas ou subcontratados para a prestação de serviços auxiliares (JÚNIOR; SAMPAIO, 2020). No total, esse segmento industrial, segundo a ABICalçados (2020), emprega 269,4 mil pessoas (2019) e conta com 6,1 mil estabelecimentos (2018). Tais números, representam que esse ramo corresponde a cerca de 4% do Produto Interno Bruto (PIB) do país.

Uma forma significativa de impacto ambiental, ligado diretamente à indústria calçadista, são os resíduos industriais, ou resíduos pré-consumo, que se caracterizam por sobras de matérias primas que, após as diversas atividades e processos desenvolvidos na indústria, não são mais utilizados (SOARES; ARAÚJO, 2016). Ainda que a regulamentação, juntamente com as mudanças no mercado consumidor, promova a introdução de melhorias contínuas no que diz respeito a redução ou eliminação de resíduos gerados, produz-se um grande volume de resíduos sólidos e líquidos. A forma mais comum de gerenciar tais resíduos é realizando o descarte (CALANDRO; CAMPO, 2016). Sobre esses problemas ambientais, eles estão diretamente ligados à própria produção e ao processamento da matéria prima (STAIKOS et al., 2006).

Existe uma gama de produtos utilizados e muitos desses materiais apresentam processos produtivos e de transformação bastante prejudiciais ao meio ambiente, oferecendo riscos à saúde humana e à ambiental (DE JACQUES, 2011). Os resíduos sólidos oriundos das sobras e

falhas dessas matérias-primas são, principalmente, descartados, o que acontece em aterros industriais chamados de Aterro de Resíduos Industriais Perigosos (ARIP), mas também podem ser reinseridos no processo produtivo ou destinados aos catadores de materiais recicláveis (SOARES; ARAÚJO, 2016). Em vista do exposto a fabricação de calçados, com suas diversas etapas e sub-etapas, gera cerca de 300 toneladas/dia de resíduos sólidos no país (SOARES; ARAÚJO, 2016). Um valor bastante elevado, dado que os índices de reaproveitamento de resíduos são ainda baixos (CALANDRO; CAMPO, 2016).

No cenário pós-consumo é o fim de vida do produto calçados que representa um enorme risco ambiental, pois, geralmente, são colocados em aterros (STAIKOS et al., 2006). Dado a enorme quantidade de calçados produzidos, uma média mundial per capita de 3 pares/ano em 2010, percebe-se a grande relevância de soluções para o final de vida do calçado (DE JACQUES, 2011). Dessa forma, ainda segundo De Jacques (2011), a reutilização de materiais representa um dos principais gargalos para o fechamento do fluxo de produção do produto calçado. Ainda que menos frequentes, ou que apenas estendam o fim de vida, doações ao reuso, desmontagem para reutilização de materiais e a queima para geração de energia são outras alternativas existentes (STAIKOS et al., 2006). Tal problemática é agravada pela crescente exigência mercadológica por produtos variados e especializados, o que leva ao desenvolvimento mais veloz de novos produtos por parte das empresas. Isso acarreta um ciclo de vida menor aos produtos e, por consequência, a geração de mais resíduos (STAIKOS; RAHIMIFARD, 2007).

Neste contexto, encontra-se diferentes componentes que são utilizados para fabricação dos calçados variando-se desde couro, metais, colas, plásticos, borrachas, entre outros fazendo com que não sejam compostáveis. No caso dos calçados estudados nesta pesquisa, o principal componente é a borracha. Os adereços presentes nestes calçados com propriedades diferentes da borracha se encontram em volume menor, embora também representem um problema no final da vida útil.

A borracha é um material básico e amplamente difundido em incontáveis áreas. Num aprofundamento inicial e exploratório sobre ela, percebe-se a enorme variedade de tipos de materiais existentes, com diferentes composições, aditivos de produção e propriedades pós-consumo. As principais categorias são o PVC, Poliuretano, Poliestireno, ABS e borrachas termoplásticas. Em relação aos materiais vulcanizados há dois tipos principais: (i) borrachas naturais, que provêm das seringueiras e são transformadas em uma borracha crua antes da vulcanização para obtenção do produto final; e, (ii) borrachas sintéticas, que têm origem na indústria petroquímica e são vulcanizadas, sob variadas condições e aditivos químicos, para a

obtenção de dezenas de categorias diferentes, sendo as de estireno-butadieno (SBR) e os copolímeros em blocos de estireno (SBC) as mais relevantes para a indústria calçadista. (MORTON, 2013)

A princípio, toda a diversidade de materiais representa uma dificuldade para a elaboração do fim de vida dos produtos, uma vez que a falta de padronização, as composições complexas - e desconhecidas -, somadas à contaminação e a perda de propriedades naturais ao uso, torna o aproveitamento do resíduo um desafio (CIMINO; ZANTA, 2005). Cada um desses tipos conta com diferentes caminhos de reuso, reparo e reciclagem, o que exige um detalhamento específico (DE OLIVEIRA NETO et al., 2010).

Outro aspecto relevante do resíduo da borracha são as características adquiridas com a vulcanização da mesma, processo descoberto em 1839 por Charles Goodyear casualmente. A partir de 1845 R. W. Thomson criou o pneu de borracha aproveitando-se desta descoberta (GUISE-RICHARDSON, 2010). Nesse processo, a borracha passa por um aquecimento na presença de enxofre, mais gases, que funcionam como agentes aceleradores e modifica suas propriedades físicas, aumentando sua resistência ao calor e tração mecânica. A borracha passa de um estado plástico para um estado elástico. Alguns aditivos químicos que resultam na melhora das propriedades físicas do material, também são frequentemente utilizados, peróxidos orgânicos. Dada a utilização de variados produtos químicos, há a possibilidade de poluição do solo ou das águas pela presença de elementos como o enxofre e o chumbo ocasionando danos à saúde humana (FOŘT et al., 2022).

Tais processos para a obtenção influenciam diretamente a forma como a reciclagem tem de ser feita, uma vez que é necessário a realização de operações que resultem em um novo produto com propriedades interessantes (CIMINO; ZANTA, 2005; SAPUTRA, 2021). Muitos dos processos visam, ainda que parcialmente, desvulcanizar o resíduo para poder empregá-lo posteriormente. Existem muitas formas de realizar isso, algumas mais vantajosas, práticas e consolidadas do que outras (CIMINO; ZANTA, 2005). Porém, pela borracha pós-consumo já ter perdido, parcialmente ou totalmente, as suas propriedades que a tornavam interessantes economicamente, algum reprocessamento tem de ser empregado nas cadeias (SAPUTRA et al., 2022). Cabe destacar que Adhikari et al. (2000) citam quatro formas básicas de resgatar o resíduo: físicas, químicas, biotecnológicas e por materiais renováveis. Nem todas visam desvulcanizar a borracha, mas, sim, prepará-la para a ressignificação ou reutilização a depender da alternativa encontrada.

Independente da forma escolhida para revalorizar o resíduo, vale destacar que ainda os processos não são padronizados e nem validados. Condutas adequadas ambientalmente para

todos os processos precisam ser criadas, sendo necessárias pesquisas, regramentos legais e procedimentos novos para que sejam mitigados os riscos ambientais.

Diante do contexto apresentando sobre a problemática do grande consumo de calçados, estudos foram desenvolvidos para mitigar o estrago ambiental que este resíduo ocasiona ao ser colocado no aterro por não serem acondicionado adequadamente.

Bianchi et al. (2022), estudaram soluções sustentáveis para o mercado de calçados de segurança para solucionar a problemática de que cerca de 600 milhões de biqueiras, acessório de segurança do calçado, são descartadas todos os anos e não são tratadas por não terem a possibilidade de desmontá-las do calçado. O estudo identificou que uma solução seria substituir o material por sucatas de fibra de carbono, podendo ser empregadas e tratadas na EC, porém os autores se depararam que a solução não era viável economicamente, por ter um alto custo de produção e gerando outro impacto ambiental agravante, devido à alta demanda energética para a sua fabricação, ou seja, ao tentar solucionar um problema, poderia estar ocasionando outro.

Já Marques et al. (2017) pesquisaram o material de couro que é a principal categoria de produtos de calçado feitos em Portugal, representando cerca de 75% de todos os produtos deste setor industrial. Pelo fato de estes resíduos serem agressivos ao meio ambiente, os autores fizeram um estudo exploratório a partir de dados da Agência Nacional do Ambiente, outros dados de organizações setoriais e pesquisa de campo com empresas neste segmento. Este último visava identificar se as empresas calçadistas entendem sobre as vantagens competitivas de se tornarem empresas verdes seguindo as abordagens dos 4 R's: Reduzir, Reuso, Reciclar e Repensar ou (Re)Desenhar.

Chang (2022) em seu estudo visou auxiliar a tradicional fábrica de calçados na obtenção de uma cadeia de suprimentos verde e na construção de uma linha de produção rápida e inteligente baseada na Indústria 4.0, enquanto domina com precisão um pequeno número de modelos de produção rápida orientados pelas necessidades e serviços do cliente e aumentando o valor do produto e a satisfação do cliente. Paes et al. (2019) ressaltam a necessidade de integração das políticas públicas entre os diferentes níveis de governo e as políticas setoriais no que se refere à transição para a EC beneficiando tanto em meios econômicos quanto ambientais setores como o calçadista.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta seção inclui a descrição da unidade de pesquisa, método de pesquisa e método de trabalho.

3.1. UNIDADE DE PESQUISA

O Sistema Circular do calçado de borracha pós-consumo alvo deste estudo, trata-se de um projeto piloto iniciado em agosto de 2020. Uma empresa de grande porte do segmento calçadista brasileiro contratou uma *startup* de logística e consultoria para realizar um estudo de viabilidade técnica e econômico-financeira de um sistema circular para calçados de borracha. O calçado é composto essencialmente por borracha expandida, que é a matéria-prima predominante. O calçado pós-consumo deverá ser recolhido, tratado e sua borracha convertida em novo produto, de preferência, um produto que possa também ser aproveitado ao final de sua vida útil.

A *startup* de logística será denominada doravante apenas como *Startup*. A *Startup* brasileira, localizada na cidade de Porto Alegre, capital do Estado do Rio Grande do Sul, atua no mercado de gestão de resíduos desde 2018. Sua missão é “*simplificar os processos de gestão de resíduos: coisas consideradas lixo para algumas pessoas é um recurso para nós*”. Mais do que desenvolver processos sob uma filosofia de ganhos mútuos (*win-win*), a empresa é especializada na estruturação e suporte à implementação de logística reversa. Por não ter muita experiência com sistemas de EC, solicitou apoio do NIProS – UFRGS.

A viabilidade técnica e econômico-financeira do sistema piloto circular do calçado de borracha pós-consumo foi estruturado por meio de pesquisa colaborativa com o Núcleo de Inteligência para Projetos e Sistemas da UFRGS (NIProS). O NIProS realiza pesquisa aplicada nas áreas de Gerenciamento de Projetos e Economia Circular e os pesquisadores pertencem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Durante a etapa de Análise de Viabilidade Técnica foi realizada a concepção e incorporação de atores ou membros ao sistema interorganizacional. As equipes do NIProS realizaram pesquisa na literatura, pesquisa *desk*, dados de campo e entrevistas com empresários e empreendedores para conceber o esboço do sistema circular (**Figura 3**). Neste esboço está apresentada apenas a porção reversa do sistema, que dá visibilidade ao pós-consumo. Os calçados são descartados no lixo doméstico pelo consumidor e levados até cooperativas por meio da coleta seletiva das cidades. Algumas lojas da empresa investidora iniciaram, em

paralelo, um processo experimental de **coleta/devolução** de calçados usados, os quais eram transportados até as cooperativas para **triagem** e separação das partes do calçado. Em seguida, os pares triados são conduzidos para empresa de **reciclagem** que realiza a moagem da borracha e separação de componentes do calçado, como metais, enfeites e outros. O material moído e selecionado é levado para o **transformador** final que converte a borracha reciclada em novos produtos. Os novos produtos não são necessariamente adquiridos pelo mesmo consumidor representado na **Figura 3**, porém para fins de simplificação a linha vermelha indica que o “novo” produto (que não é um produto calçadista) será adquirido por consumidores que serão pessoas físicas ou jurídicas.

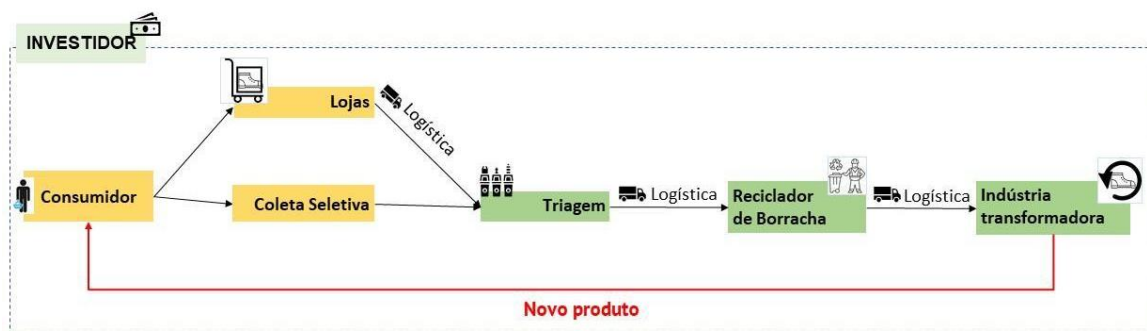


Figura 3. Esboço do Sistema Circular interorganizacional piloto do calçado de borracha

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Após a estruturação do sistema foram realizados convites a empresários para participarem do sistema circular piloto esboçado. Esta articulação entre os *players* foi conduzida pela *Startup* em parceria com a equipe NiProS. A governança e as operações do sistema circular piloto para o calçado de borracha foram conduzidas pela *Startup* e empresa investidora a partir de junho de 2021. Por questões de sigilo não serão mencionadas neste estudo as empresas participantes, nem suas localidades, estas serão representadas como membros do sistema circular interorganizacional do calçado de borracha.

O projeto piloto encontrava-se em operação até o final desta pesquisa. A governança do projeto estabeleceu rodadas de avaliação (*workshops*) entre as partes envolvidas para identificação de ações corretivas e melhoria do sistema circular. O estudo de viabilidade econômico-financeira que é o tema desta dissertação, tornou-se ferramenta útil para: (i) revelar variáveis sensíveis do sistema; (ii) trazer transparência e confiabilidade aos participantes do sistema; (iii) identificar situações de ganhos mútuos aos envolvidos.

3.2. MÉTODO DE PESQUISA

Quanto à sua natureza, este trabalho se trata de uma pesquisa aplicada, a qual visa gerar conhecimentos para aplicação prática na solução de problemas específicos (DA SILVA; MENEZES, 2005). Do ponto de vista dos objetivos, o estudo é exploratório, os quais são investigações que têm por finalidade aumentar a familiaridade do pesquisador com o ambiente, fato ou fenômeno, abrir caminhos para pesquisas mais rigorosas ou alterar e clarificar conceitos (LAKATOS; MARCONI, 2011; GIL, 2010). Concernente ao procedimento técnico, empregou-se o *Design Science Research (DSR)*.

3.3. MÉTODO DE TRABALHO

O *DSR* é um método que visa agregar conhecimento na criação de novos modelos, processos, planos ou procedimentos, que tenham um fim específico e uma aplicação prática na resolução de problemas gerenciais (KASANEN, LUKKA; SIITONEN, 1993; LUKKA, 2003).

A sua principal vantagem é a aplicação prática, podendo ser utilizado com ambos os métodos, quantitativo e qualitativo. Desta forma, o pesquisador deve usar seu entendimento, criatividade e experiência prática na proposição de uma solução útil e inovadora para um problema identificado (LUKKA, 2003). Os protocolos de *Design Science Research (DSR)* de Kasanen, Lukka e Siitonen (1993) e Geerts (2011) foram adaptados e as fases e etapas estão descritas na **Figura 4**.

Além disso as etapas para a análise de viabilidade econômico-financeira e de risco como descrito por Blank e Turin (2008) foram atreladas na metodologia adaptada de *DSR*. Estas sendo: (1) Análise de viabilidade técnica; (2) Coleta de dados referentes ao investimento para um horizonte de dez anos, como investimento inicial, receitas brutas e custos totais, dentre outros; (3) Construção do fluxo de caixa incremental, representando os efeitos positivos e/ou negativos no caixa provocados pelo investimento; (4) Cálculo dos indicadores (Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno, *Payback* descontado e Índice de Rentabilidade), para atestar a viabilidade econômica do investimento. e, (5) Análise de risco. O detalhamento das fases apresentadas na **Figura 4** são descritas a seguir.

DESIGN SCIENCE RESEARCH

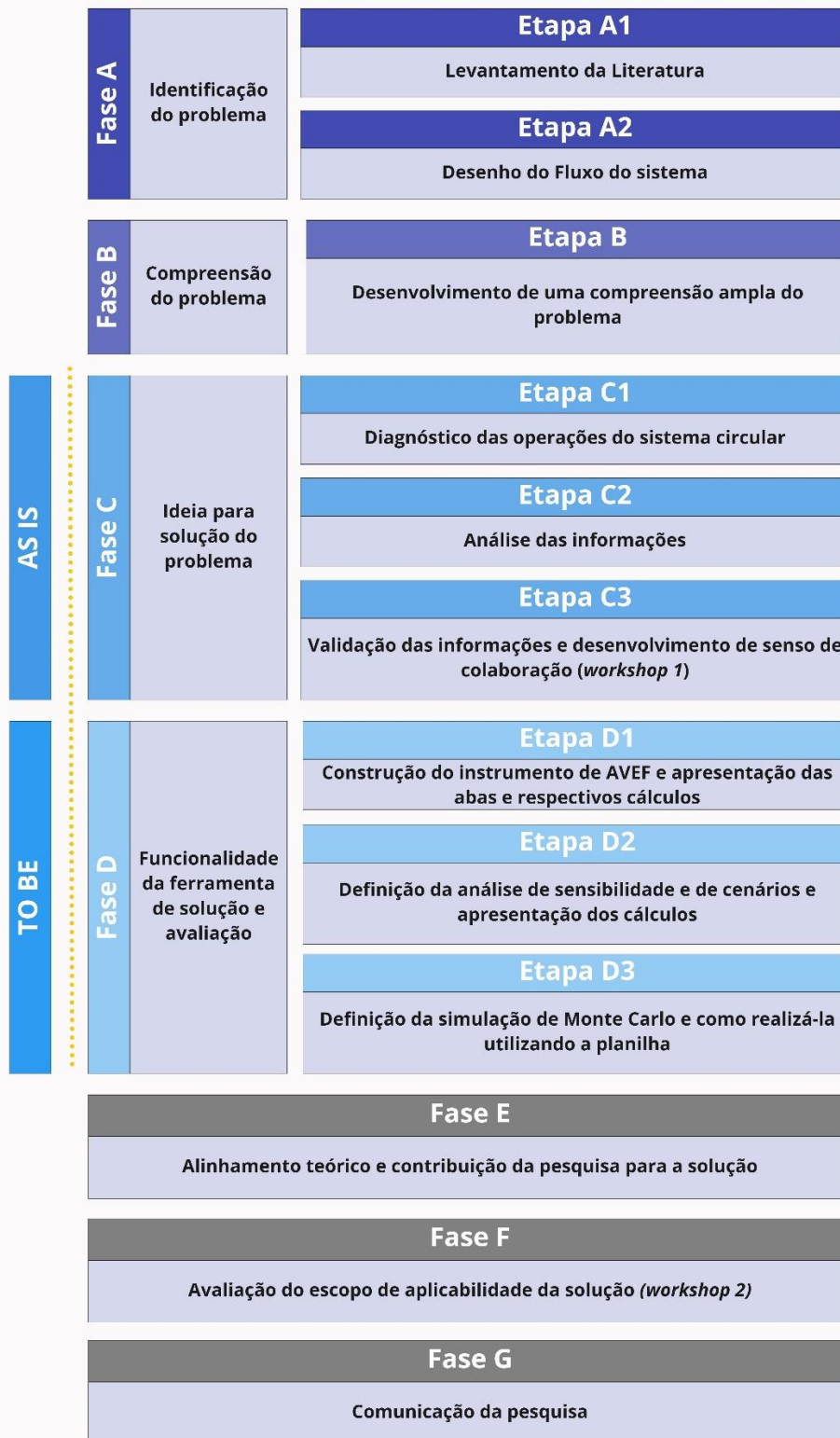


Figura 4. Fases e etapas da metodologia *Design Science Research (DSR)*

Fonte: Adaptado de Kasanen, Lukka, e Siitonen 1993; Geerts 2011

FASE A - Identificação do potencial problema a ser pesquisado

Para identificar o potencial problema de pesquisa foram realizadas as seguintes etapas: (A1) levantamento da literatura e (A2) Detalhamento do fluxo do sistema, incluindo uma pesquisa do comportamento dos consumidores de calçados de borracha.

A problematização neste projeto nasceu não da literatura, mas sim do desenvolvimento da análise técnica do sistema e de suas necessidades. Partindo-se da premissa que a confiança e a colaboração em sistemas reversos depende de relações de transparência financeira e ganhos mútuos (DE CAMPOS et al., 2020; DZHENGIZ, 2020), realizou-se um levantamento da literatura para identificar artigos que tratassem do uso de viabilidade econômico-financeira de sistemas circulares. O período para levantamento da literatura foi de setembro a novembro de 2021. A *string* de busca usada nas bases de dados *Web of Science* e *Science Direct* foi: “*Circular Economic*” AND “*Economic-Financial Feasibility Analysis*” AND “*Interorganizational System*”.

Nesta etapa, a análise técnica do sistema piloto (**Figura 4**) com o detalhamento das atividades foi essencial para identificação dos atores envolvidos e definição do problema. Desta forma, visando oferecer suporte à integração dos membros do sistema e tomada de decisão ao longo dos estágios do projeto foram definidas a seguinte questão de pesquisa:

QP: *Quais adaptações podem ser feitas nos procedimentos de análise de viabilidade econômico-financeira visando a avaliação do desempenho de um sistema circular interorganizacional?*

Para complementar o levantamento de informações e embasar nosso estudo foi realizada uma breve pesquisa quantitativa, de uma amostra por conveniência (*snowball*), com o intuito de identificar o comportamento do consumidor em relação ao resíduo do calçado estudado.

FASE B - Compreensão do problema

A equipe NIProS composta por quatro especialistas da área de sistemas circulares avaliou os dados obtidos na fase A. Juntamente com a equipe da *Startup* os especialistas validaram a decisão de adaptação de ferramentas de tomada de decisão, especificamente, a análise de viabilidade econômico-financeira (AVEF) à estrutura de um sistema circular interorganizacional (**Quadro 2**).

Quadro 2. Descrição dos perfis dos especialistas dos sistemas circulares

Equipe NIProS	Um doutor em engenharia de produção com experiência em gerenciamento de projetos e economia circular.
	Um doutor em inovação com experiência em ecossistemas de inovação.
	Um mestre em engenharia de produção com experiência na elaboração de <i>business case</i> .
	Um estatístico com experiência em <i>Business Intelligence</i> .
Equipe Startup	Um <i>chief executive officer</i> da <i>Startup</i> , com formação em administração e Gestão Empresarial e Economia.
	Um <i>chief customer officer</i> da <i>Startup</i> , mestre em administração e gerenciamento de negócios.
Equipe empresa investidora	Um mestre em Engenharia de produção e responsável pelo setor de Inovação de produto da empresa investidora.

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

O debate estabelecido entre os especialistas levou ao entendimento de que seria necessário adaptar os procedimentos de análise de viabilidade econômico-financeiras para o sistema circular interorganizacional visando trazer uma perspectiva de análise de desempenho financeiro global do sistema, mas também uma perspectiva individual para cada empresa membro.

FASE C - Construindo uma ideia de solução para o problema

Nesta etapa, a metodologia *DSR* propõe o desenvolvimento de conhecimento aplicável e útil para a resolução de problemas (VENABLE, 2016). Para cumprir com os propósitos da Fase C (**Figura 4**) idealizou-se um instrumento para análise de viabilidade econômico-financeira do sistema circular interorganizacional. O instrumento foi desenvolvido por meio de adaptações dos procedimentos de análise de viabilidade da literatura (BJÖRNSDÓTTIR, 2010; BLANK; TARQUIN, 2012; LEE, 2017; FISU et al., 2020), seguindo uma lógica iterativa e criativa. Foram geradas versões que foram sendo ajustadas até aprovação final. Duas grandes etapas foram necessárias para elaboração do instrumento: a etapa de coleta de dados do sistema circular (*AS IS*) descrita nas sub-etapas C1 a C3 e a etapa de proposição do instrumento (*TO BE*) descritas nas sub-etapas D1 a D3. As sub-etapas da Fase C são apresentadas a seguir.

Etapa C1 - Diagnóstico das operações do sistema circular (As Is)

A Fase C (*As Is*), consiste no diagnóstico das operações do sistema circular piloto. No mês de maio de 2021 foram realizadas entrevistas com os representantes das empresas membro do sistema circular interorganizacional piloto, quais sejam: gestor da empresa investidora,

gestor da *Startup* responsável pela logística, gestor da empresa de triagem, gestor da empresa de reciclagem e da indústria transformadora. As entrevistas foram realizadas remotamente, utilizando a plataforma Zoom®, com duração de aproximadamente 1h cada. Por se tratar de um estudo piloto e utilizar dados sensíveis e sigilosos das empresas, corria-se o risco de algum ator não querer declarar as informações solicitadas. O gestor da empresa recicladora não concedeu entrevista, porém forneceu alguns dados para fins de análise do sistema.

O planejamento das entrevistas contou com: (i) definição dos objetivos da pesquisa; (ii) roteiro contendo perguntas a respeito da percepção de valor dos gestores-membro do sistema circular inter-organizacional; (iii) questões relacionadas a receitas de cada empresa; despesas fixas; custos variáveis; impostos; (iv) agendamento e coleta de informações (gravadas e enviadas por e-mail); e, (v) organização das informações para análise dos resultados. O roteiro das entrevistas pode ser visto no **Apêndice B**.

Ainda nesta etapa foram levantados os seguintes dados da literatura: (i) casos semelhantes como fonte de informação a respeito de fatores externos que interferem nas análises, fatores internos das empresas e outros dados. Dentre eles foram levantadas: taxas mínimas de atratividade (TMA) adotadas nos estudos; barreiras e facilitadores; (ii) exigências de órgãos governamentais a respeito dos aspectos ambiental, social e econômico-financeiro para sistemas semelhantes ao que está sendo desenvolvido.

Etapa C2 - Análise das informações

A análise das informações coletadas das entrevistas foi realizada por meio de análise de conteúdo (BARDIN, 2009). Como unidades de análise utilizaram-se os tópicos tratados no instrumento de coleta de dados (percepção de valor relativa ao sistema; redesenho do sistema circular da borracha com as informações quantitativas levantadas nas entrevistas; elaboração do quadro síntese contendo informações das empresas em relação aos seus custos, ganhos, quantidade (kg) de calçado, valor por kg de resíduo e forma atual das operações dos processos de separação e logística). Como unidades de contexto as características das empresas que fizeram parte do sistema.

A análise do conteúdo, permitiu a geração de cenários contendo macro fluxograma de processos dos atores, padronização das informações e responsabilidades de cada ator; dimensionamento dos cenários e estudo financeiro, analisando os recursos, tecnologias e investimentos envolvidos no sistema. A organização destas informações deu suporte para realização de um *workshop* de alinhamento com todos os representantes das empresas. O propósito era: (a) dar visão do sistema circular a todos envolvidos; (b) e validar as informações

coletadas, existência de inconsistências antes do desenvolvimento do instrumento de análise de viabilidade econômico-financeira.

Etapa C3 - Validação das informações e desenvolvimento de senso de colaboração

Um *workshop* de alinhamento (*workshop 1*) foi realizado com o intuito de discutir, gerar alinhamento e validar com os gestores das empresas os resultados obtidos nas entrevistas da Etapa B. O *workshop 1* foi estruturado por meio das seguintes ações: (i) convite aos gestores das empresas contendo informações: data e hora; *link* da plataforma Zoom®, assinatura de termo de confidencialidade; (ii) material de abertura do *workshop*: contextualização da definição de EC, a metodologia utilizada no estudo viabilidade econômico-financeira e valores organizacionais que devem ser considerados em processos de colaboração no contexto de EC; (iii) informações apresentadas na plataforma colaborativa, contendo: redesenho do sistema com *insights* advindos das entrevistas; quadro síntese contendo informações de discordância entre os atores, que eram considerados críticos ou essenciais sob o ponto de vista deste sistema; (iv) encerramento do *workshop* e coleta de impressões relativas à transparência, entre - outras.

FASE D - Apresentação da funcionalidade da solução, métricas apropriadas e ferramentas de avaliação (*To be*)

Visando responder à questão de pesquisa (QP) empregaram-se os métodos análise de viabilidade econômico-financeira - AVEF (BLANK; TARQUIN, 2012; LEE, 2017) e o método simulação de Monte Carlo (MAZHRAKOV, 2018).

Nas etapas a seguir serão apresentadas a construção do instrumento AVEF que foi adaptado para realizar a análise de viabilidade econômico-financeira dos negócios individuais (*players*) e do sistema circular como um todo. Considerando-se a interdependência entre as empresas pertencentes ao sistema circular piloto de reciclagem da borracha pós consumo de calçados, a **premissa assumida é que a viabilidade econômico-financeira do sistema circular é consequência da viabilidade individual de cada empresa membro. O resultado de viabilidade econômico-financeira do sistema é obtido pelas entradas e saídas das viabilidades individuais de cada empresa.**

O instrumento AVEF proposto foi elaborado em planilha eletrônica Excel®. Este software é acessível para maioria das empresas e permite a realização de análise de sensibilidade e de cenários. Ele também permite interface com o *add-in* @Risk utilizado para análises de riscos realizando a Simulação de Monte Carlo.

Etapa D1 – Construção do instrumento de Análise de Viabilidade Econômico-Financeira

Considerando que os dados de operação levantados nas etapas anteriores foram validados, iniciou-se a construção dos estudos individuais de viabilidade econômico-financeira para cada empresa. Assim, tais análises forma o ponto de partida para elaboração do instrumento de análise de viabilidade econômico-financeira do sistema circular (AVEF).

O instrumento de AVEF foi organizado em uma planilha eletrônica Excel® contendo seis abas (**Figura 5**). Estas que são descritas a seguir:

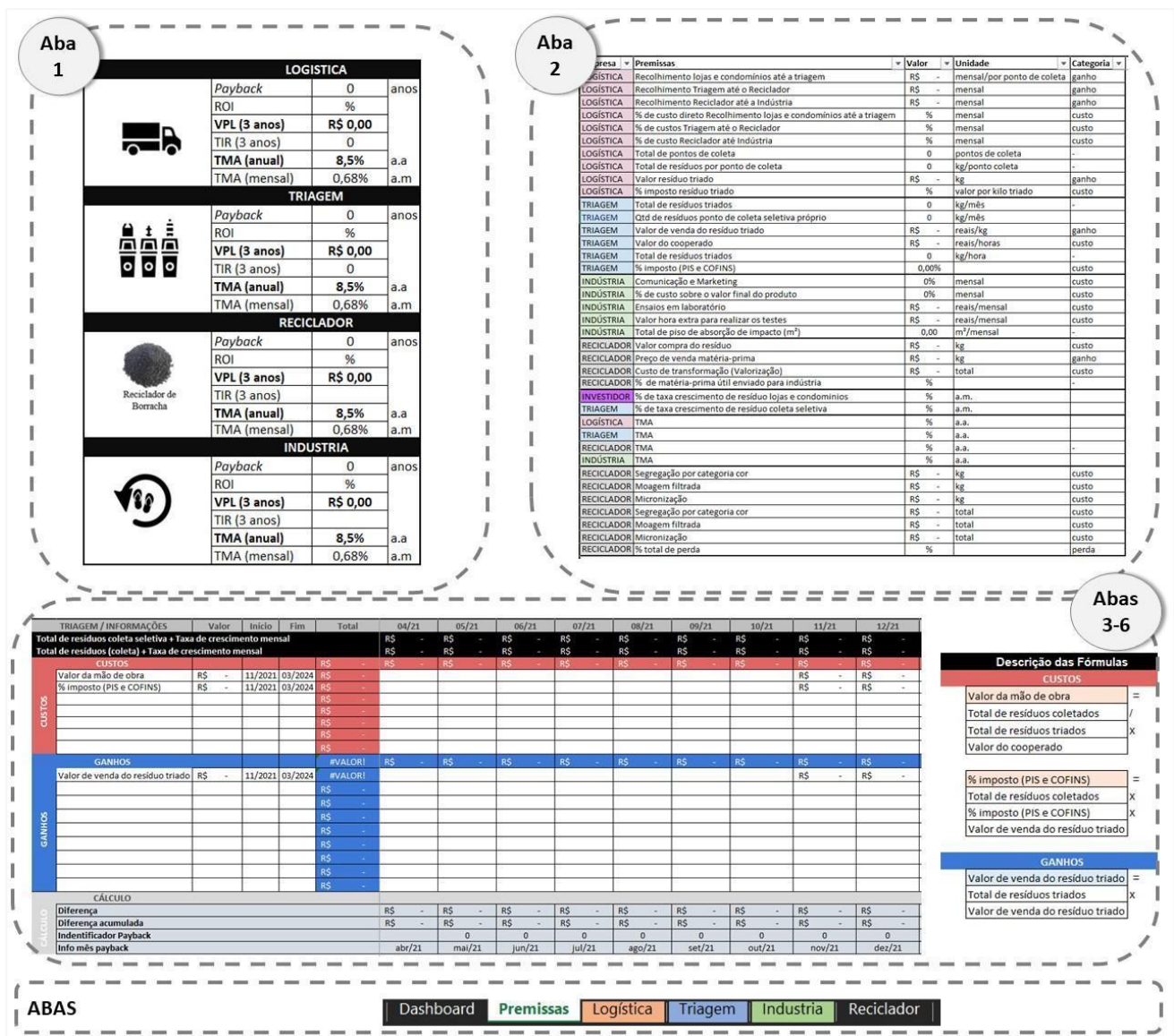


Figura 5. Representação das abas da planilha de AVEF

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Aba 1 (dashboard): contém os resultados dos indicadores principais da análise financeira cada ator do sistema, sendo eles: VPL (Valor Presente Líquido), *Payback*, ROI (Retorno sobre o Investimento), TIR (Taxa Interna de Retorno) e TMA (Taxa Mínima de Atratividade);

Aba 2 (Premissas): contém a entrada de informações na forma de premissas. Elas são organizadas por atores e discriminadas por seu valor e categoria. Cada premissa pode ser alterada conforme necessário, atualizando automaticamente todos os cálculos da planilha;

Abas 3-6 (Ator “x”): cada ator possui uma aba específica contendo os cálculos para análise de viabilidade construídos a partir das suas premissas.

Uma visão geral das abas que compõem o instrumento AVEF é apresentada na **Figura 5**. A planilha e detalhamento dos cálculos e fórmulas do Excel® podem ser encontrados no **Apêndice C**.

O detalhamento das abas será apresentado a seguir.

Na aba *Dashboard* (Aba 1) são apresentados os principais resultados da AVEF do sistema circular, por ator. Os indicadores são calculados a partir das fórmulas contidas nas abas por atores (abas 3 a 6) que por sua vez são alimentados pelas premissas (aba 2). Na aba premissas, são incluídas todas as variáveis (informações) levantadas nas entrevistas com os atores a respeito de seus custos e ganhos, tanto da sua situação atual (sistema linear) quanto do esperado ao ter o estudo piloto rodando. Estes custos e ganhos são os básicos que devem garantir que o sistema circular piloto inicie e que ajude a identificar se este é viável economicamente e financeiramente.

Etapa D1.1 – Aba Premissas

Na aba premissas encontram-se tanto informações de custos fixos e variáveis de cada atividade realizada por cada empresa membro do sistema (logística, triagem, reciclagem e indústria). No **Quadro 3** apresenta-se uma visão parcial das premissas. O quadro completo pode ser visto no **Apêndice D**.

Quadro 3. Premissas do sistema circular interorganizacional piloto de calçado de borracha

d	Ator	Premissas	Valor	Unidade	Categ.	Fórmulas
L1	Logística	Total de recolhimento lojas até a triagem	R\$ -	mensal/ponto coleta	ganho	
L16		Total de pontos de coleta	-	pontos de coleta	-	
L17		Total de resíduos ponto de coleta	-	kg/ponto coleta	-	
L20		Total de resíduos recolhidos	-	kg/mês	-	= L16 * L17
T1	Triagem	Valor de venda do resíduo triado	R\$ -	reais/kg	ganho	

T4		Total de resíduos triados	-	kg/mês	-		
T6		Qtd de resíduos ponto de coleta seletiva próprio	-	kg/mês	-	= T4 + L20	
R1	Reciclador	Valor compra do resíduo	R\$ -	kg	custo	= T1	
R2		Preço de venda matéria-prima	R\$ -	kg	ganho	= R3*(1+35%)	
R3		Custo de transformação (Valorização)	R\$ -	mensal	custo	= (R11+R12+R13) / (T4*(1-R7))	
R5		Valor logística entre Reciclador e Indústria	R\$ -	kg	custo	= L3	
R6		% marcas diversas	%		perda		
R7		% de perda materiais + haste	%		perda		
R9		Moagem filtrada	R\$ -	kg	custo		
R10		Micronização	R\$ -	kg	custo		
R11		Total de segregação por categoria cor	R\$ -	mensal	custo	= T4 * R8	
R12		Total de moagem filtrada	R\$ -	mensal	custo	= T4 * R9	
R13		Total de micronização	R\$ -	mensal	custo	= T4 * R10	
R14		% total de perda	%		perda	= R6 + R7	
I1		Indústria	Comunicação e Marketing	%	mensal	custo	
I5			Total de piso de absorção de impacto (m ²)	-	m ² /mensal	-	= (T4 * (1-R14)) / I6
I6	Total de resíduo (kg) por m ²		-	kg/m ²	-		
IN1	Investidor	% taxa crescimento de resíduo lojas	%	mensal			

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

As premissas são divididas por atores sendo identificadas por 'id', descrição, valor, unidade, categoria (custo, ganho ou perda) e fórmula para as variáveis. Na coluna categoria, ganhos são as premissas que representam receita ao ator, já os custos considerados despesas, são variáveis incrementadas ao processo já existente dos atores do sistema, despesas fixas tais como salários, conta de energia, aluguel, não foram considerados, pois já estão incorporados ao processo atual dos atores.

Etapa D1.2 - Cálculos AVEF (abas 3 a 6)

As informações utilizadas para realizar os cálculos de ganhos e custos dos atores nas abas de cálculos (abas 3 a 6) são as advindas da aba premissas, desta forma, qualquer alteração de valores deve ser realizada na aba premissas para que automaticamente os valores sejam recalculados conforme a necessidade de mudança de valores para diversas análises (**Figura 6**).

A planilha de cálculos está dividida em quatro sessões, cada uma contendo informações sobre seu respectivo ator: (i) custos (células de cor rosa), (ii) ganhos (células de cor azul), (iii) cálculos (células de cor cinza) e (iv) informações extras (células de cor preta). Cada coluna representa informações necessárias para realizar os cálculos da AVEF. Algumas das colunas possuem campo calculado, que retornam valores advindos da aba premissas. Dentro de cada

sessão existe os tipos de custos e ganhos que afetam a AVEF. Para realizar o cálculo é necessário informar na coluna “Valor” qual o valor do custo ou ganho no período estudado (mensal, bimestral, anual), este podendo mudar de acordo com o tipo de custo ou ganho; e, a data de início e fim da análise (Coluna “Início” e “Fim”). Desta forma, com os campos preenchidos, a coluna Valor Total será preenchida automaticamente. Os cálculos (Apêndice C) podem ser ajustados conforme os tipos de custos e ganhos de um determinado sistema.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1	TRIAGEM / INFORMAÇÕES															
2	Total de resíduos coleta seletiva + Taxa de crescimento mensal						R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
3	Total de resíduos (coleta) + Taxa de crescimento mensal						R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
4	CUSTOS	Tipos de Custos	Valor (R\$)	Início	Fim	Valor Total (R\$) no período completo	mês 01	mês 02	mês 03	mês 04	mês 05	mês 06	mês 07	mês 08	mês 09	
5		Valor da mão de obra	R\$ -	mês/ano	03/2024	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
6		% imposto (PIS e COFINS)	R\$ -	mês/ano	03/2024	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
7						R\$ -										
8						R\$ -										
9						R\$ -										
10						R\$ -										
11						R\$ -										
12			Valor total de CUSTOS	R\$ -	mês/ano	mês/ano	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
13		GANHOS	Tipos de Ganhos	Valor (R\$)	Início	Fim	Valor Total (R\$) no período completo	mês 01	mês 02	mês 03	mês 04	mês 05	mês 06	mês 07	mês 08	mês 09
14			Valor de venda do resíduo triado	R\$ -	11/2021	03/2024	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
15							R\$ -									
16						R\$ -										
17						R\$ -										
18						R\$ -										
19						R\$ -										
20		Valor total de GANHOS	R\$ -	11/21	03/24	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	
22	CALCULO															
23	Diferença						R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	
24	Diferença acumulada						R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	
25	Identificador Payback						0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	Info mês payback						mês 01	mês 02	mês 03	mês 04	mês 05	mês 06	mês 07	mês 08	mês 09	

Figura 6. Cálculos da AVEF para cada ator do sistema circular piloto (abas 3 a 6)

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

A sessão de cálculos possui informações sobre: (i) diferença entre ganhos e custos por período; (ii) diferença acumulada, a cada período que passa qual o valor do lucro (+) ou déficit (-) existente; (iii) identificador *Payback*, retorna o valor ‘1’ no exato período em que o sistema irá retornar o investimento, ou seja quando $VPL = 0$.

Etapa D1.3 - Aba Dashboard

A **Figura 7** representa os principais indicadores da AVEF para que seja passível de interpretar se um sistema é financeira e economicamente viável para todos os atores, para que isso ocorra todas os atores devem representam um VPL positivo, representando que o sistema gera ganhos mútuos aos atores e que assim pode ser considerado viável. Além disso, o *payback* informa, no prazo de “x” períodos, o ponto de equilíbrio do sistema, ou seja, quando o investimento tiver sido compensado.

O instrumento aqui proposto é adaptável de acordo com o sistema que estiver sendo estudado, o intuito deste estudo é de apresentar um instrumento que contenha uma estrutura

passível de avaliar uma AVEF. Desta forma, a descrição e fórmulas para cada indicador estudado são detalhados e apresentados no **Apêndice E**.





LOGISTICA			
	Payback	-	período
	ROI	%	
	VPL (3 anos)	R\$ -	
	TIR (3 anos)	%	
	TMA (anual)	%	a.a
	TMA (mensal)	%	a.m
TRIAGEM			
	Payback	-	período
	ROI	%	
	VPL (3 anos)	R\$ -	
	TIR (3 anos)	-	
	TMA (anual)	%	a.a
	TMA (mensal)	%	a.m
RECICLADOR			
	Payback	-	período
	ROI	%	
	VPL (3 anos)	R\$ -	
	TIR (3 anos)	%	
	TMA (anual)	%	a.a
	TMA (mensal)	%	a.m
INDUSTRIA			
	Payback	-	período
	ROI	%	
	VPL (3 anos)	R\$ -	
	TIR (3 anos)	%	
	TMA (anual)	%	a.a
	TMA (mensal)	%	a.m

Figura 7. Indicadores da AVEF por ator

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Estando a planilha corretamente serão gerados os indicadores da **Figura 7**. Com base nos resultados dos indicadores será possível refletir sobre os resultados obtidos por cada empresa individualmente e analisar como o sistema global se comportará no período que foi escolhido para análise.

Etapa D2 – Análise de sensibilidade e de cenários

Para a análise de sensibilidade e de cenários uma nova aba foi acrescida da planilha no instrumento de AVEF.

A análise de sensibilidade permite avaliar o impacto de oscilações (níveis) das diferentes variáveis sobre o resultado do projeto, conforme as expectativas dos avaliadores (pessimista, mais provável, otimista). Ela possibilita calcular o VPL de cada membro do sistema variando os valores das premissas consideradas críticas ao sistema. **A Figura 8** ilustra a planilha de entrada de dados para a análise. As premissas terão seus níveis percentualmente variados, por exemplo, “Quantidade de resíduo gerado (kg)” com a premissa “Valor de venda do Resíduo (R\$)” variando-as em -10%, 0% e 10%, onde 0% são os valores atuais. Podem ser testados outros percentuais se estes não apresentarem resultados suficientes. O resultado em VPL será plotado em gráfico. A interpretação do Gráfico é feita pela inclinação da reta. Quanto maior à inclinação em relação ao eixo X mais sensível é o VPL em relação às flutuações dos valores percentuais das premissas de entrada. Para a interpretação, a variável cujos valores de VPL sofrerem maior oscilação será considerada a mais sensível.

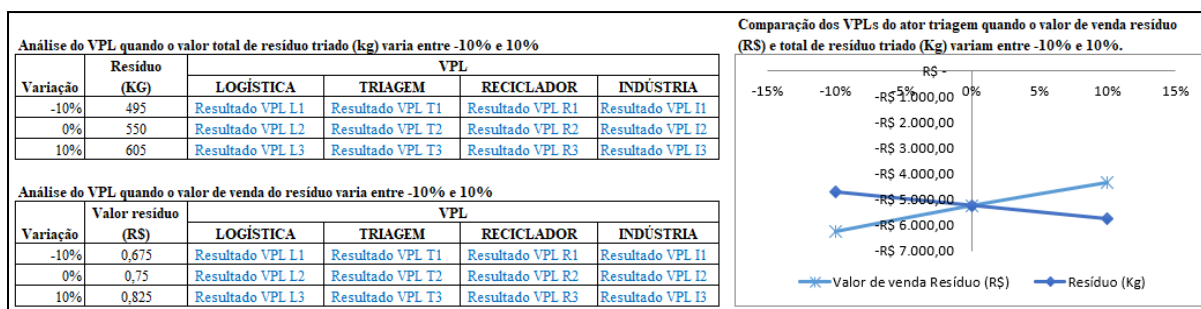


Figura 8. Representação do resultado da Análise de Sensibilidade realizada no Excel

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

A análise de cenários minimiza a limitação da análise de sensibilidade, proporcionando que mais de uma variável tenha seus níveis modificados ao mesmo tempo, avaliando-se assim o impacto global sobre o resultado do projeto (BLANK; TARQUIN, 2012). Desta forma, deve-se escolher quais variáveis geram mais impacto no sistema ao se testar diferentes níveis. A vantagem da análise é a simplicidade e rapidez, porém como desvantagem, considera-se que as variáveis relevantes ao sistema são independentes, ou seja, não permite que as variáveis sejam avaliadas frente às suas interdependências (CASAROTTO FILHO; KOPITKE, 2000).

Após testar as premissas e selecionar variáveis que são mais sensíveis ao sistema, realiza-se a análise de cenários. Neste caso, avalia-se o VPL considerando as interdependências existentes entre as variáveis (**Figura 9**). As análises foram realizadas na mesma planilha de cálculos (**Apêndice C**) e foi utilizada a função “cenários” do Excel®.

Resumo do cenário		Otimista	Cenário Atual
Células variáveis:			
	Total de Resíduos triados (Kg)	Valor Otimista	Valor atual
	Valor de venda do resíduo (RS)	Valor Otimista	Valor atual
Células de resultado:		VPL	VPL
	LOGÍSTICA	VPL Otimista	VPL atual
	TRIAGEM	VPL Otimista	VPL atual
	RECICLADOR	VPL Otimista	VPL atual
	INDÚSTRIA	VPL Otimista	VPL atual

Figura 9. Representação do resultado de análise de cenários realizada no Excel

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

A análise de cenários permite que as variáveis escolhidas mais sensíveis ao sistema sejam analisadas conjuntamente resultando em um valor de VPL único impactado por todas as variáveis escolhidas. Nele é sempre apresentado o cenário atual (0%) e o otimista (% positivo), também podendo analisar o pessimista (% negativo). A **Figura 9**, apresenta um exemplo de

como o resultado da análise é apresentado. Para que o sistema seja viável, os VPLs de todos os membros do sistema devem ser superior a zero.

Etapa D3 - Simulação de Monte Carlo

O instrumento de análise de viabilidade econômico-financeira (AVEF) proposto neste estudo deu suporte para realizar a simulação de Monte Carlo utilizando o software @risk (<https://www.palisade.com/risk/>). O software é um suplemento (*add-in*) da Microsoft Excel®, não gratuito, que permite analisar riscos usando simulação de Monte Carlo, apresentando os resultados possíveis para qualquer situação informando a probabilidade de ocorrência destes resultados, dando a oportunidade de o tomador de decisão julgar quais riscos poderá assumir, e quais evitar.

Com o intuito de considerar múltiplas combinações possíveis, e dessa forma examinar a distribuição de probabilidade das variáveis do sistema, utiliza-se o método ‘Simulação de Monte Carlo’, na qual a variável dependente, ou de saída, será o VPL de cada empresa. As variáveis independentes, ou de entrada, serão os dados das premissas tais como, ‘% de taxa de crescimento de resíduos nas lojas’, ‘Total de resíduos recolhidos (Kg)’, entre outras (**Figura 10**). A distribuição de probabilidade triangular foi assumida para seis variáveis descritas na **Figura 10** porque não havia dados históricos que permitissem definir o perfil de probabilidade da variável. A distribuição triangular é indicada nessas circunstâncias. A definição dos parâmetros para as seis variáveis obedeceu aos mesmos percentuais da análise de sensibilidade.

A distribuição de Laplace foi assumida para as variáveis ‘total de resíduos recolhidos e quantidade de resíduos no ponto de coleta seletivo próprio’, porque revelou-se como o melhor ajuste para os poucos dados disponíveis em relação a estas variáveis. Os parâmetros para análise foram a média e desvio dos dados observados.

ATOR	INPUT	CATEGORIA	VALOR	DISTRIBUIÇÃO	PARÂMETROS
INVESTIDOR	% de taxa crescimento de resíduo lojas e condomínios	-	0%	Triangular	Mínimo -0,1; Mais provável 0; Máximo 0,1
LOGÍSTICA	Total de resíduos recolhidos (Kg)	-	450	Laplace	Média 450; Desvio 90
TRIAGEM	% de taxa crescimento de resíduo coleta seletiva	-	0%	Triangular	Mínimo -0,1; Mais provável 0; Máximo 0,1
TRIAGEM	Qtd de resíduos ponto de coleta seletiva próprio (Kg)	-	100	Laplace	Média 100; Desvio 20
TRIAGEM	Valor de venda do resíduo triado (R\$)	Ganho	0,75	Triangular	Mínimo 0,65; Mais provável 0,75; Máximo 1,50
RECIKLADOR	% marcas diversas	Perda	30%	Triangular	Mínimo 0,285; Mais provável 0,3; Máximo 0,315
RECIKLADOR	% de perda materiais + haste	Perda	6%	Triangular	Mínimo 0,057 ; Mais provável 0,06; Máximo 0,063
INDÚSTRIA	Valor de venda do produto final (R\$/m ²)	Ganho	150	Triangular	Mínimo 135; Mais provável 150; Máximo 165

ATOR	OUTPUT	CATEGORIA
LOGÍSTICA	VPL (R\$)	Resultado
TRIAGEM	Total de resíduos triados (Kg)	-
TRIAGEM	VPL (R\$)	Resultado
RECIKLADOR	% total de perda	Perda
INDÚSTRIA	Total de piso de absorção de impacto (m ² /mês)	-
INDÚSTRIA	VPL	Resultado

Figura 10. Inputs e outputs da Simulação de Monte Carlo

A Figura 10 ilustra os valores de mínimo, mais provável e máximo de cada variável.

A interpretação da simulação de Monte Carlo consiste em mostrar dentro de um intervalo de confiança qual é probabilidade de se obter um valor de VPL positivo para um determinado membro do sistema ou para o sistema como um todo. Em uma análise de um sistema circular piloto, a simulação precisará ser realizada depois de serem coletados dados históricos do projeto para que as distribuições de probabilidade possam ser calculadas para cada variável, caso contrário, os resultados não serão confiáveis.

FASE E - Demonstração do alinhamento teórico e contribuição da pesquisa para a proposição de soluções

Nesta etapa os autores fizeram uma análise cruzada entre os resultados obtidos e a literatura consultada. O resultado da análise foi divulgado no item discussão desta dissertação.

Fase F - Avaliação do escopo de aplicabilidade da solução - Apresentação do instrumento para as empresas contratantes

Na fase de avaliação do instrumento, participaram somente os representantes das duas empresas: investidora e de logística. Após a entrega, os contratantes utilizarão o instrumento para dar suporte à tomada de decisão, e conforme sentirem a necessidade de ajustes estes serão realizados, posteriormente.

Fase G - Comunicação de pesquisa

Os resultados da pesquisa foram redigidos em formato de relatórios técnicos para as empresas participantes do sistema circular e em formato de dissertação acadêmica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A EC se fundamenta em três princípios. O caso estudado nesta pesquisa está alinhado ao segundo princípio que consiste em estender a vida útil de produtos e materiais, mais especificamente borracha de calçados. Idealmente, produtos devem ser projetados para não gerar resíduos, mas caso não tenham sido concebidos desta forma torna-se necessário realizar ações denominadas de ‘*end-of-pipe*’ (fim de tubo). Uma ação de fim de tubo, geralmente é válida para resíduos que não puderam ser evitados desde a fase de projeto, sendo uma alternativa de remediação ao final da vida útil do produto. Trata-se de uma estratégia ambiental reativa e não preventiva.

No caso estudado, os calçados poderiam ser redesenhados de forma a utilizarem materiais que não chegassem a se tornar um resíduo no pós-consumo, ao final de sua vida útil. Entretanto, enquanto não sofrerem esta intervenção, os resíduos gerados devem ser tratados, visando sua revalorização, aproveitamento ou transformação em novo produto. Ocasionalmente assim, não somente a diminuição dos resíduos em aterros sendo este um agravante para o ambiente devido ao seu tempo de decomposição do resíduo (no caso de borracha trata-se de aproximadamente 600 anos), mas também, como por exemplo, reciclando o resíduo, há uma geração de economia de energia nos processos de produção de produtos, e diminuição da utilização de matéria-prima virgem. O calçado alvo deste estudo possui o solado de borracha expandida e vulcanizada² que ao final da vida útil é descartado pelo usuário junto aos resíduos secos domiciliares. O calçado é um tipo de chinelo que além da borracha que pode ser tingida em cores variadas, contém tiras de PVC e outros apetrechos (materiais metálicos, poliméricos, tecidos). Estes últimos sempre estão em menor quantidade e volume. A ênfase principal do sistema circular se concentra na coleta e transformação do solado de borracha. De qualquer forma, invariavelmente o calçado como um todo é depositado em aterros, quando não é descartado no meio ambiente sendo encontrado em ruas, praias, rios e mares (COULIBALY, 2022).

Desta forma, o impacto deste descarte inadequado não incide somente sobre o meio ambiente, mas também sobre a ‘marca’ da empresa que fica exposta à opinião pública. Para alcançar os propósitos de circularidade o resíduo ‘borracha expandida’ do solado do calçado

² Borracha expandida e vulcanizada: alvo de patente, cuja composição não está disponível.

precisa ser recolhida do sistema de produção e consumo linear e trazido de volta para o mesmo sistema, ou para algum outro, por meio de logística reversa (LR). A LR é um instrumento importante da EC e o seu sucesso exige um comportamento colaborativo e de confiança entre as partes envolvidas num sistema interorganizacional conforme descrito no referencial teórico e em De Paula et al. (2019) e Dzhengiz (2020).

A premissa subjacente é que durante o projeto do sistema interorganizacional (envolvendo a logística reversa e transformação do resíduo em novo produto), os resultados de uma análise de viabilidade econômico-financeira serão úteis para trazer alinhamento entre as partes, maiores níveis de comprometimento, confiança e promoção da colaboração em LR. A análise econômica é uma dimensão determinante para a sustentabilidade do sistema circular ao longo do tempo. Entretanto, para se proceder as análises é necessário que a operação técnica do sistema circular interorganizacional tenha sido implementada e esteja sendo realizada por algum tempo, para que gere resultados significativos. A **Figura 11** ilustra o mapeamento do sistema piloto que está sendo operado na região sudeste do Brasil. Por questões de sigilo não serão mencionadas as empresas participantes, nem suas localidades.

Em virtude de tratar do resíduo pós-consumo, o recorte adotado no mapeamento do sistema se inicia com o descarte do calçado pelo consumidor no final da vida útil (**Figura 11**). Não foi incluído no mapeamento as operações de fabricação do calçado ou outras à montante na cadeia de produção.

O estudo possibilitou diagnosticar a situação econômico-financeira do sistema circular atual para buscar alternativas de como torná-lo viável. Alguns benefícios que esta análise traz, podem ser citados: (i) ela permite estabelecer relações de ganhos mútuos entre as partes envolvidas; (ii) permite entender as necessidades de mudanças operacionais no sistema, a partir da análise da situação atual, e (iii) identificar junto aos *players* do sistema circular, oportunidades de melhoria das condições de viabilidade financeira do sistema como um todo.

Obedecendo à estrutura metodológica proposta na seção 3 (**Figura 4**) da dissertação, após o desenho do sistema (Fase A - Identificação do problema), partiu-se para a compreensão ampla do sistema Fase B - Compreensão ampla do sistema.

Importante mencionar, que a iniciativa de estruturação do sistema circular partiu dos gestores da empresa fabricante do calçado que se sentiram impelidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) a se responsabilizar pelo resíduo pós-consumo dos calçados que fabrica. A empresa é a investidora inicial do projeto (membro investidor – **Quadro 4**), mas seus gestores pretendem que, no médio prazo, o sistema circular se sustente de forma autônoma. Mais uma razão para se proceder análises de viabilidade econômico-financeiras que subsidiem as decisões em direção à sustentabilidade econômica do sistema circular nascente.

Fase B - Compreensão ampla do sistema.

Os membros do sistema circular interorganizacional são aqueles que irão realizar as operações de coleta, triagem, e transformação do resíduo em novo produto e, para isso, é necessário que haja cooperação, comunicação e uma boa governança. Ao realizar o estudo de viabilidade técnica do sistema, identificou-se que para estruturar um sistema piloto com o mínimo de recursos seriam necessários pelo menos cinco tipos de empresas: investidor, empresa de logística, triador, reciclador e empresa transformadora. O agente consumidor não está listado entre as partes convidadas diretamente para a concepção do sistema piloto, mas é envolvido por meio de campanhas de conscientização, como esclarecido a seguir. O **Quadro 4** contém uma descrição de cada membro do sistema interorganizacional, função no sistema e quais participaram da análise de viabilidade econômico-financeira.

Quadro 4. Descrição dos perfis das empresas membro do sistema circular interorganizacional

Tipo de empresa membro	Características e Funções	Ator pertencente ao estudo de AVEF
Investidor – Empresa fabricante do calçado	Empresa fabricante do calçado, interessada na estruturação do sistema circular interorganizacional e principal investidora do sistema circular.	Sim
Empresa de Logística	<i>Startup</i> que realiza logística reversa de resíduos em várias localidades do país.	Sim
Empresa Triadora	Cooperativa de reciclagem de grande porte localizada na região sudeste. Encarregada de recolher os calçados de coleta seletiva própria e separá-los dos demais resíduos sólidos e acondicionar no transporte.	Sim
Empresa Recicladora	Empresa responsável por separar tiras/metais/solados dos calçados, classificar a borracha por cor, categoria e transformá-lo em matéria-prima: borracha micronizada.	Não foi possível coletar dados da empresa.
Empresa Transformadora	Empresa responsável por utilizar a matéria-prima (borracha micronizada) proveniente da empresa recicladora para produzir novos produtos, tais como: piso para <i>playground</i> , tatame e outros.	Sim
Lojas oficiais da empresa fabricante do calçado	Lojas responsáveis por coletar e armazenar os calçados (resíduo) que os consumidores depositam em seus coletores.	Não foram incluídos no escopo do estudo de viabilidade.

Coleta seletiva urbana	Coleta seletiva urbana é responsabilidade do Município, este que faz a coleta e entrega os resíduos nas cooperativas.	Não foram incluídos no escopo do estudo de viabilidade.
Consumidor	Pessoa física usuária dos calçados e que descarta o produto ao final da vida útil.	Não foram incluídos no escopo do estudo de viabilidade, porém uma pesquisa sobre consumo de calçados foi realizada.

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

A **Figura 12** inicia-se com as operações de coleta do calçado pós-consumo advindos do consumidor, sendo este o recorte realizado na cadeia de produção e consumo. Na análise do sistema linear foi realizada uma breve pesquisa quantitativa. A pesquisa apontou que dos 236 respondentes brasileiros, 76% (178 respondentes) descartam o resíduo calçado no resíduo seco doméstico, o qual é frequentemente recolhido por meio da coleta seletiva municipal³ e são encaminhados às cooperativas das cidades envolvidas. Já 32,2% dos casos (76 respondentes), os consumidores conseguem doar seus calçados e 12% (28 respondentes) levam ao sapateiro (consertam). Além disso, 9,6% afirmam descartar os calçados junto ao resíduo orgânico pela justificativa de não possuírem coleta seletiva em seus bairros. Dentre as cidades mencionadas no estudo que não teriam coleta seletiva em determinados bairros se incluem São Carlos e Osasco – SP; Barra Mansa – RJ e Novo Hamburgo – RS (PAULA et al., 2020).

O sistema circular interorganizacional piloto foi estruturado em uma cidade de grande porte no estado de São Paulo e optou-se por envolver, num primeiro momento, apenas uma cooperativa de triagem de resíduos. A cooperativa apresenta um certo nível de maturidade em gestão e presta serviços de coleta para outras empresas do município. Além da coleta seletiva proveniente dos domicílios da cidade, algumas lojas oficiais da empresa fabricante do calçado e investidora do sistema foram incluídas no estudo. Um total de 11 lojas oficiais, procederiam a recepção de calçados pós-consumo devolvidos por clientes/consumidores, mediante campanha de conscientização. De certa forma, a criação de Ponto de Entrega Voluntária (PEV) nas lojas oficiais funcionaram como estruturas piloto para fins de educação da população.

A empresa de Logística, ocupou um papel relevante dentro do sistema. Ela realiza o transporte dos resíduos das lojas oficiais até a triagem, da triagem até reciclador, e do reciclador até o transformador. De certa forma, inicia-se a logística reversa do resíduo em direção às operações de valorização do resíduo. A logística costuma ter um impacto significativo sobre a

³Em alguns municípios brasileiros a coleta seletiva é realizada por meio de serviços prestados pelas próprias cooperativas que fazem à triagem e separação do material, visando o correto descarte. No caso estudado, o município é responsável pela coleta seletiva.

dimensão ambiental e econômico-financeira do sistema circular (SIMÃO; GONÇALVES; RODRIGUEZ, 2016; FARKAVCOVA; RIECKHOF; GUENTHER, 2018). O transporte motorizado, baseado na queima de combustíveis fósseis, é responsável pela emissão de vários poluentes nocivos à saúde e que degradam o meio ambiente (FARKAVCOVA; RIECKHOF; GUENTHER, 2018). Além disso, a crise imposta pela pandemia COVID-19 elevou os preços dos combustíveis (VITORIO, 2021), trazendo mais complexidade ao sistema. Importante mencionar que a coleta de dados deste estudo ocorreu antes do aumento do preço de combustíveis.

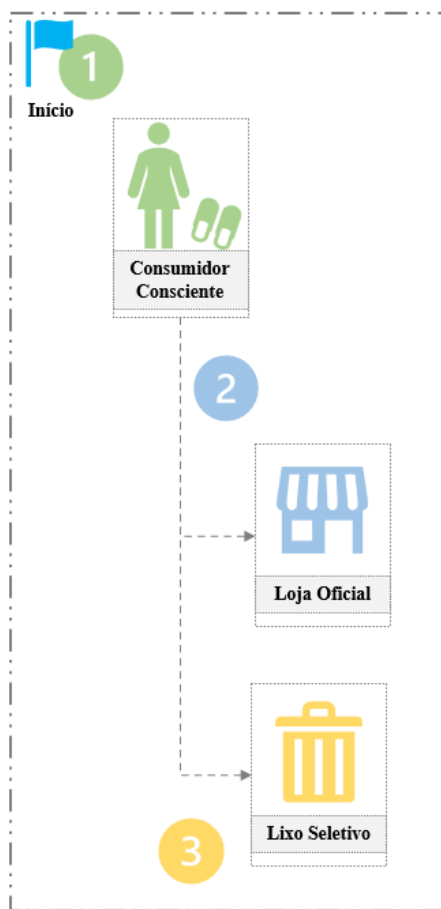


Figura 12. Recorte da Figura 11. Início do Sistema com o membro consumidor

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

O custo desta operação, no sistema piloto, é pago pela empresa investidora, desta forma, não afetando diretamente nos custos dos demais membros do sistema em relação ao transporte, além disso a empresa investidora também é responsável por comprar o resíduo triado pela cooperativa, não gerando custo de compra de resíduo ao próximo *player* (reciclador). A empresa investidora também tem um forte papel dentro do sistema de realizar as campanhas de *marketing* para conscientização do consumidor com relação ao descarte do resíduo.

A empresa Triadora consiste na cooperativa responsável pela seleção e triagem do resíduo. Os colaboradores das cooperativas separam os calçados dos demais resíduos sólidos provenientes da coleta domiciliar e os acondicionam em *bags*. Estes são, posteriormente, transportados com os pares de calçados recebidos das lojas oficiais até o membro reciclador.

A empresa Recicladora, ao receber o resíduo já triado, tem o papel de separar os componentes do calçado (tiras/metais/cordões) do solado de borracha, classificar o solado por cor, categoria e transformá-lo (micronização) na matéria-prima borracha em grão. Este material é conduzido novamente por meio da empresa de Logística até a empresa Transformadora (Indústria).

A empresa Transformadora, por sua vez, é responsável por utilizar a matéria-prima (borracha em grão) proveniente do Reciclador para produzir novos produtos: piso para *playground*, tatame e outros. Por fim, este novo produto pode ser vendido para outras empresas (pessoa jurídica), consumidor (pessoa física) e voltar, ao fim da sua vida útil, para esse mesmo sistema ou para um novo sistema, fomentando a circularidade do material.

As empresas convidadas a fazerem parte do sistema piloto são coordenadas pela empresa responsável pela logística do sistema. A empresa Investidora remunera a empresa de Logística que por sua vez repassa o valor de compra do resíduo triado para a cooperativa e o transporta sem custo para o Reciclador e Transformador. O estudo de viabilidade econômico-financeira visa identificar se o sistema circular piloto desenhado na primeira fase deste estudo (**Figura 11**), considerando um período de três anos, se torna viável e autossustentável. A unidade de referência é o cenário de sistema linear deste resíduo (calçado descartado pelo consumidor encaminhado para aterro).

Fase C - Ideia para solução do problema

Visando desenvolver o projeto de viabilidade econômico-financeira duas etapas foram realizadas. A primeira etapa (i) foi o diagnóstico das operações do sistema circular (*As is*), incluindo a coleta e análise das informações levantadas a partir de entrevistas com os gestores das empresas; e (ii) etapa de validação das informações e desenvolvimento de senso de colaboração (*workshop 1*). O desdobramento destas etapas é apresentado a seguir.

O diagnóstico das operações do sistema circular iniciou-se a partir da construção de roteiros de entrevistas adaptados às realidades e tipos de operações de cada empresa membro do sistema (**Apêndice B**), para condução das entrevistas. Os roteiros contavam com informações a respeito do entendimento do papel da empresa no sistema, quais suas principais operações e seus respectivos custos e ganhos. As informações coletadas nas entrevistas, com os

membros, além de permitirem a validação do mapeamento do sistema (**Figura 11**), possibilitaram identificar as expectativas de cada empresa e seus papéis (**Quadro 5**).

Quadro 5. Descrição dos papéis e percepção de valor dos gestores das empresas membro do sistema

Empresas membro do Sistema	Descrição do papel	Percepção de valor
Investidor	Papel de investidor. Responsabilidade de conectar as operações de triagem e transformação. O papel atual é de comprar o resíduo triado e doar para o reciclador, pois hoje o resíduo do calçado estudado não tem valor. No longo prazo fazer o sistema operar de forma autônoma.	Proteção da marca da empresa, ser líder no mercado em relação à sustentabilidade, atender exigências do consumidor.
Logística	Papel de logística, governança, gestão dos dados, encontrar mercados. Desejando que o sistema se automatize no futuro.	Autossustentabilidade do sistema, ganhos mútuos para os envolvidos; resultados reais e positivos, adaptação à realidade do mercado e avanço sólido em ESG.
Triador	Receber o material e realizar a triagem. Acondicionar o material preparado para a empresa que vai fazer a logística dos resíduos triados.	Gerar receita a partir de resíduos, contribuir com o desenvolvimento da comunidade, alcançar resultados ambientais.
Transformador	Fabricação e venda do produto final (para o próprio Investidor, clientes próprios e intermediários).	Acredita na Logística Reversa e no reaproveitamento de materiais; entende que a parceria com a marca do investidor valoriza sua própria marca; gerar resultado financeiro.

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

A **Figura 13** demonstra que existe uma certa sobreposição em relação às expectativas de alguns dos *stakeholders*, especialmente no que diz respeito à resultados financeiros e autossustentabilidade do sistema (**Quadro 5**). Esse achado reforça que a análise de viabilidade econômico-financeira pode ser um instrumento útil para gerar informações de interesse comum e que possam ajudar a construir confiança e colaboração entre os membros. Além disso, a literatura indica que os estudos de LCC são usadas para avaliar todos os custos associados a um produto ao longo de todo o seu ciclo de vida de um sistema circular e não para determinar, de forma precoce, a inviabilidade deste sistema, prevenindo perdas de dinheiro e de tempo (BJÖRNSDÓTTIR, 2010). Pode-se, portanto, supor que a associação do LCC e das práticas da engenharia econômica podem ser complementares, uma vez que a análise de viabilidade econômico-financeira servirá para levantar os custos utilizados nos cálculos do VPL, TIR, *payback* e outros indicadores.

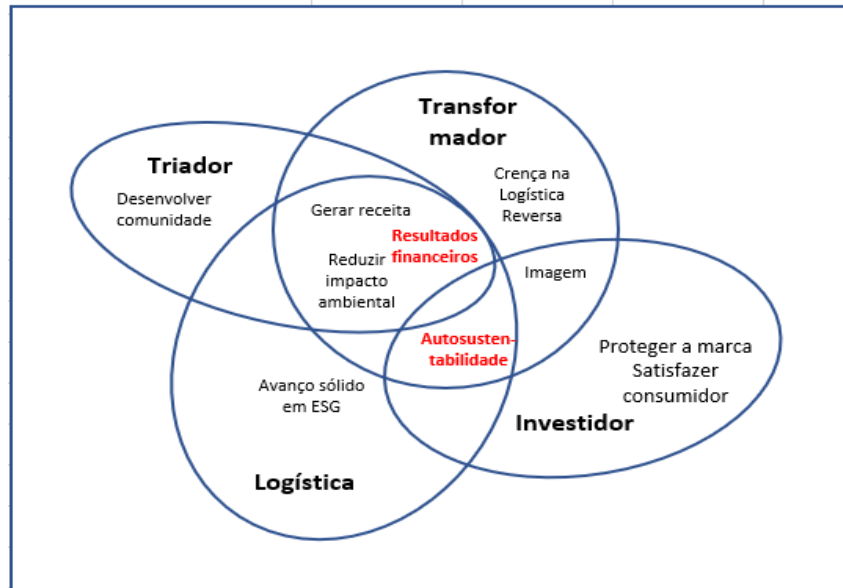


Figura 13. Diagrama de valores percebidos pelos gestores das empresas membro do sistema e sobreposições

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Em relação às entrevistas, o representante da empresa investidora explanou sobre o seu papel no sistema circular identificando-se e afirmando o interesse em fomentar a reciclagem do produto e conectar os elos do sistema, conforme demonstra a declaração a seguir.

“[...] considerando a marca especificamente, fomenta-se a economia circular, por um lado a gente está mais próximo do consumidor, de resolver uma dor que a gente já identificou. Do ponto de vista de sustentabilidade, existe essa demanda por um descarte adequado e consciente que a gente não estava endereçando antes. A gente começa a endereçar. Então eu acho assim, sem a empresa o sistema não gira, a gente entende que a nossa matéria prima precisa desse incentivo para fomentar a cadeia de reciclagem porque hoje é um material que não tem valor. [...] Senão é a gente ali comprando esse resíduo da cooperativa, conectando as pontas [doando para o próximo elo do sistema] não tem como dar os primeiros passos para uma economia circular por aqui. Acho que o objetivo da gente também é fazer com que isso rode sozinho no futuro (Empresa Investidora).”

O representante da empresa de Logística ressaltou que em breve espera-se que o sistema se autogerencie, assim como foi mencionado pelo representante da empresa investidora e pelo transformador. Também reforçou a preocupação com os ganhos mútuos para todos os envolvidos. O representante da logística espera com o estudo que se tenha resultados reais e positivos, não fugindo da realidade do mercado e proporcionando avanços sólidos nas dimensões *Environmental, Social and Governance* (ESG). O gestor explicou que os relatórios ESG auxiliam na avaliação da empresa sobre o seu grau de envolvimento social e ambiental, que vai além do papel de uma corporação no interesse de maximizar os lucros. Para tanto, utiliza indicadores.

O representante da empresa triadora entende que seu papel dentro sistema é de receber o material e realizar a triagem, deixar tudo preparado para a empresa que vai retirar os materiais já triados. Assim, o resíduo irá gerar receitas tornando possível contribuir com o com o desenvolvimento da comunidade podendo remunerar famílias e alcançar resultados ambientais.

O representante da empresa Transformadora explanou sobre sua percepção de valor em relação ao sistema, tomando como referência seu próprio produto:

“[...] Eu acredito que o meu produto esteja muito mais ligado com a imagem de marca e com um conceito. A gente vende muito o conceito e trabalha muito com o mercado que é o mercado de arquitetura. Então nesse momento eu não vejo um aumento de vendas por conta disso eu trago muito mais um modelo de marca e um conceito de empresa. Então talvez para poder agregar mais valor para o meu cliente eu tenho um produto feito com o resíduo da marca oficial do calçado (Empresa Transformadora).”

Também, o entrevistado acredita na Logística Reversa e no reaproveitamento de materiais, que é a atividade fim da empresa. Entende que a parceria com a marca do investidor valorizará sua própria marca e participar do sistema irá gerar resultado financeiro a sua empresa.

Nas entrevistas, identificou-se que em relação às expectativas e entendimento de seus papéis no sistema, todos estavam cientes de suas atribuições, porém havia algumas dúvidas em relação ao funcionamento do sistema como um todo. A estratégia adotada para aproximação dos membros foi a realização de um *workshop de alinhamento (1)* com todos os representantes das empresas membros do sistema. O *workshop 1* teve por propósitos: (a) dar visão do sistema

circular a todos envolvidos; (b) validar as informações coletadas e identificar inconsistências antes do desenvolvimento do instrumento de análise de viabilidade econômico-financeira.

O *workshop 1* possibilitou um debate entre os gestores das empresas os quais apresentaram seus papéis no sistema e percepções de valor. Nele, foram questionadas informações acerca dos processos de separação, logística, quantidades e os valores de venda deste resíduo de cada empresa membro do sistema. O *workshop 1* também possibilitou que os gestores identificassem onde sua empresa estava inserida dentro do sistema e as relações entre suas atividades e as atividades dos demais membros. Houve integração entre os membros e a abertura em poderem explicar suas dúvidas foi muito enriquecedor ao estudo.

Para o *workshop 1*, os organizadores do *workshop* decidiram apresentar algumas premissas, tais como quantidade de resíduo coletado, valor por quilo do resíduo e informações a respeito de processos de separação e logística. Informações sensíveis à empresa como valores de ganhos e custos não foram disponibilizados aos demais membros durante o *workshop*. A decisão de apresentar tais informações apenas ao contratante do estudo (empresa investidora) está fundamentada no fato de ser a primeira oportunidade de encontro em todos os membros. Questões que poderiam gerar polêmicas foram reservadas para serem discutidas em oportunidades posteriores, por exemplo, após ter uma primeira análise da viabilidade econômico-financeira. Importante mencionar que ao participar de um sistema circular, informações sensíveis ao negócio das empresas membro precisa ser, eventualmente, disponibilizadas aos demais membros para fins de análise e busca de consenso.

Mesmo diante desta limitação foi possível realizar uma discussão em torno de alguns problemas, tais como: a baixa quantidade de resíduo coletado durante o estudo, formas de aumentar o volume de calçados, diferentes percepções sobre o processo de triagem e separação, e qual forma a empresa triadora executaria estas operações.

O quadro adaptado contendo a síntese com as informações norteadoras da discussão durante o *workshop 1* está apresentado no **Apêndice F**. Em relação aos custos e ganhos esperados, levantados nas entrevistas, estes são apresentados no **Quadro 6**. Os dados foram alterados por questões de sigilo das informações.

As variáveis utilizadas na análise foram identificadas por meio das entrevistas e da compreensão das operações de cada empresa membro. Diferente dos estudos encontrados na literatura, alguns custos não foram verificados tais como, custos de investimento em equipamentos, custos de capital como instalações (ERIKSSON et al., 2018; PIERIE et al., 2017; DURACCIO et al., 2015). A explicação para isso é que as operações das empresas membro não foram significativamente alteradas para incorporar o processamento da borracha do calçado,

por não se detectar uma necessidade imediata e por ser um projeto piloto. Os estudos mencionados também incorporaram informações a respeito de indicadores de sustentabilidade como os custos de emissões de CO2 evitadas, por exemplo (PIERIE et al., 2017; DURACCIO et al., 2015). Esse tipo de dado costuma exigir uma análise de ciclo de vida e, portanto, foi uma limitação nesta pesquisa.

Quadro 6. Premissas de custos e ganhos dos membros dos sistemas

ID	Ator	Premissas	Valor	Unidade	Categoria
L1	Logística	Total de recolhimento lojas até a triagem	R\$ 366,67	mensal/ponto coleta	ganho
L2		Total de recolhimento Triagem até o Reciclador	R\$ 266,67	mensal	ganho
L3		Total de recolhimento Reciclador até a Indústria	R\$ 533,33	mensal	ganho
L4		Valor do resíduo triado	R\$ 0,75	kg	ganho
L5		Total arrecadado <i>reports</i> e governança do sistema	R\$ 7.250,00	mensal	ganho
L6		Total arrecadado com gestão da cooperativa	R\$ 200,00	mensal/cooper.	ganho
L7		Valor de venda do coletor	R\$ 1.750,00	por coletor	ganho
L8		% de custo direto Recolhimento lojas até a triagem	60%	mensal	custo
L9		% de custos Triagem até o Reciclador	65%	mensal	custo
L10		% de custo Reciclador até Indústria	80%	mensal	custo
L11		% imposto resíduo triado	6%	valor/kg triado	custo
L12		% de custo do valor do resíduo triado	100%	valor cobrado	custo
L13		% custo <i>reports</i> e governança	50%	mensal	custo
L14		% custo gestão da cooperativa	20%	mensal	custo
L15		% custo do coletor	50%	por coletor	custo
L16		Total de pontos de coleta	15	pontos de coleta	-
L17		Total de resíduos ponto de coleta	30	kg/ponto coleta	-
L18		Total de cooperativas	1	cooperativas	-
L19		Total de coletores	15	coletor/ponto	-
L20		Total de resíduos recolhidos	375	mensal	-
T1	Triagem	Valor de venda do resíduo triado	R\$ 0,63	reais/kg	ganho
T2		Valor do cooperado	R\$ 22,50	reais/horas	custo
T3		% imposto (PIS e COFINS)	3,75%		custo
T4		Total de resíduos triados	458,33	kg/mês	-
T5		% de taxa crescimento de resíduo coleta seletiva	0%	mensal	-
T6		Qtd de resíduos ponto de coleta seletiva próprio	83,33	kg/mês	-
R1	Reciclador	Valor compra do resíduo	R\$ 0,75	kg	custo
R2		Preço de venda matéria-prima	R\$ 3,09	kg	ganho

R3		Custo de transformação (Valorização)	R\$ 2,29	mensal	custo
R4		% de matéria-prima útil enviado para indústria	95%		-
R5		Valor logística entre Reciclador e Indústria	R\$ 533,33	kg	custo
R6		% marcas diversas	30%		perda
R7		% de perda materiais + haste	6%		perda
R8		Segregação por categoria cor	R\$ 0,66	kg	custo
R9		Moagem filtrada	R\$ 0,70	kg	custo
R10		Micronização	R\$ 0,89	kg	custo
R11		Total de segregação por categoria cor	R\$ 301,74	mensal	custo
R12		Total de moagem filtrada	R\$ 301,58	mensal	custo
R13		Total de micronização	R\$ 384,16	mensal	custo
R14		% total de perda	36%		perda
I1	Transformador	% Custo com Comunicação e Marketing	3%	mensal	custo
I2		% de custo sobre o valor final do produto	55%	mensal	custo
I3		Ensaio em laboratório	R\$ 3.472,22	reais/mensal	custo
I4		Valor hora extra para realizar os testes	R\$ 1.666,67	reais/mensal	custo
I5		Total de piso de absorção de impacto (m ²)	19,6	m ² /mensal	-
I6		Total de resíduo (kg) por m ²	15	kg/m ²	-
I7		Valor de venda produto final	R\$ 125,00	m ²	ganho
I8		Valor de compra matéria-prima	R\$ 5,39	kg	custo
L21	Logística	TMA	8,5%	anual	-
T7	Triagem	TMA	8,5%	anual	-
R15	Reciclador	TMA	8,5%	anual	-
I9	Transformador	TMA	8,5%	anual	-
IN1	Investidor	% taxa crescimento de resíduo lojas	0,0%	mensal	-

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

O *workshop 1* também resultou em identificação de oportunidades que poderão ser desenvolvidas posteriormente a este estudo, tais como: uma análise de portfólio da empresa investidora e concorrentes que utilizam a borracha do calçado estudado (relação dos produtos que devem ser separados na cooperativa); análise do material recebido, para identificar o que e quanto está sendo coletado de concorrentes e da própria empresa Investidora, visando a possibilidade de construir um outro sistema; e, análise de viabilidade considerando tecnologia

que automatizam os processos de separação por tonalidade e separação dos componentes na empresa Transformadora.

As premissas apresentadas no **Quadro 6** deram suporte à análise de viabilidade econômico-financeira, esta que será detalhada a seguir.

Fase D - Funcionalidade da ferramenta de solução e avaliação (To be)

Nesta fase o instrumento de análise de viabilidade econômico-financeira foi construído e apresentado sua funcionalidade (Etapa D1 - **Figura 11**) e realizada a definição, cálculos e interpretação das análises de sensibilidade, de cenários e simulação de Monte Carlo.

Etapa D1 – *Instrumento de Análise de Viabilidade Econômico-Financeira*

O estudo de AVEF foi realizado considerando um retorno de investimento em um período de 3 anos e TMA de 8,5% sem distinção dos atores. A taxa de 8,5% foi estimada e utilizada de forma igual para todos os membros, pois por se tratar de um estudo piloto, os gestores das empresas não possuíam dados suficientes para calcular a TMA. Desta forma, calculou-se a TMA a partir da taxa Selic, por ser a taxa básica e juros da economia e influencia os juros de todas as operações financeiras feitas no Brasil. A Taxa Selic era de 4,25% a.a. e, considerando-se o risco técnico e de relacionamento entre as partes envolvidas no sistema piloto, estimou-se que a TMA deveria ser pelo menos o dobro da Taxa Selic.

As premissas levantadas nas entrevistas com os gestores representantes das empresas pertencentes ao sistema, por se tratar de um estudo piloto e não possuírem dados históricos, são premissas com valores estimados. Os valores mencionados são almejados ou os gestores acreditam que sejam valores factíveis, tomando como referência as informações de seus processos atuais (sistema linear). Neste estudo, para que as informações dos atores sejam preservadas, os dados foram alterados utilizando um mesmo fator para manutenção da proporção. O instrumento AVEF preenchido com esses dados é apresentado no **Apêndice G**.

Os indicadores da análise apresentados na aba *Dashboard* da planilha da AVEF estão descritos na **Figura 14**. A figura ilustra o formato gráfico escolhido para demonstrar os indicadores no *dashboard*, com seus respectivos resultados.




LOGÍSTICA			
	Payback	0	
	ROI (3 anos)	26%	
	VPL (3 anos)	R\$ 193.303,09	a.m
	TIR (3 anos)	0%	
	TMA (anual)	8,5%	a.a
	TMA (mensal)	0,68%	a.m
TRIAGEM			
	Payback	0	
	ROI (3 anos)	-27%	
	VPL (3 anos)	-R\$ 5.763,85	a.m
	TIR (3 anos)	0%	
	TMA (anual)	8,5%	a.a
	TMA (mensal)	0,68%	a.m
INDÚSTRIA			
	Payback	0	
	ROI (3 anos)	-4%	
	VPL (3 anos)	-R\$ 3.518,56	a.m
	TIR (3 anos)	-1%	
	TMA (anual)	8,5%	a.a
	TMA (mensal)	0,68%	a.m

Figura 14. Indicadores da Análise de Viabilidade Econômico-Financeira

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Observa-se que no campo de saída dos indicadores não aparece o membro Reciclador. Não foi possível realizar uma análise para este membro por falta de informação. Apesar de reiteradas tentativas, o ator não atendeu aos chamados e, portanto, não se disponibilizou a participar de uma entrevista formal. Argumentava sempre indisponibilidade de tempo. Os dados que foram incluídos no estudo foram obtidos durante o *workshop 1* com os membros do sistema. Durante o *workshop* o representante da empresa Reciclador participou ativamente, com muito interesse e disponibilidade. Por esta razão, não foi realizada uma análise de VPL, TIR e *payback* para a empresa recicladora.

Os valores de VPL dos atores Logística, Triagem e Indústria foram: R\$ 193.303,09, -R\$ 5.763,85 e -R\$ 3.518,56, respectivamente. A demanda energética e custos de produção já haviam sido mencionados por Bianchi et al. (2022) como fatores que inviabilizavam uma solução para biqueiras de calçados de segurança. Em estudos de LCA a logística é muitas vezes removida por implicar em modos de transporte diferentes entre as etapas do ciclo de vida e impactos difíceis de mensurar. No caso estudado, o valor de VPL tão superior ao das demais empresas foi decorrente de que a empresa de Logística além de realizar o transporte do resíduo entre os membros do sistema, ela monetiza vendendo coletores de calçados à empresa investidora para cada loja oficial, também é contratada para realizar a governança e *reports* deste sistema, onde ocorre sua maior remuneração, tendo seus ganhos bem mais vantajosos que os custos. Porém, ressalta-se que essa remuneração pela parte da investidora ocorre no sistema

piloto, ao ponto de que o sistema seja autossuficiente, a empresa Logística terá apenas o papel de transportadora, diminuindo consideravelmente seu lucro.

Considerando o VPL dos três atores, pelo fato de a Triagem e Indústria Transformadora apresentarem valor negativo, o sistema piloto analisado não foi considerado financeiramente viável em sua integralidade. A premissa inicial é que haja ganhos recíprocos entre as partes envolvidas em um sistema circular. Nas atuais condições de operação, o retorno do investimento é positivo apenas para o ator Logística, mas não para os demais.

Após a análise dos indicadores que resultaram em valores negativos aos VPLs das empresas Triadora e Transformadora, foram realizadas as análises de sensibilidade e de cenários. As análises e seus respectivos resultados são apresentados a seguir.

Etapa D2 - Análise de Sensibilidade e de Cenários

A partir dos dados dos indicadores (**Figura 14**) foi realizada a análise de sensibilidade, cujos resultados são apresentados na **Figura 15**. Para avaliação da sensibilidade definiu-se uma variação de 10% em relação aos valores das variáveis ‘Quantidade de Resíduos Coletados no ponto de coleta próprio (kg)’ e ‘Valor de Venda do Resíduo Triado’. Estas variáveis foram escolhidas, pois à própria análise de VPL inicial já apresentava indícios de ser impactada pelas mesmas.

A variação de 10% não foi suficiente para positivar os valores de VPL, desta forma, foi realizada uma pequena simulação, buscando encontrar o ponto de equilíbrio, percentuais de variação que levassem o VPL à zero. Os resultados indicaram o percentual de 20% de aumento para a variável ‘Quantidade de Resíduo triado (kg)’ e 63% para a variável ‘Valor de venda do resíduo triado (R\$)’ (Figura 13). Também se observa que ao ponto que a quantidade de resíduo aumenta, o VPL da empresa Triadora fica mais negativo, esse comportamento é justificado por conta de que mais resíduo triado aumenta os custos de operação (mão-de-obra/hora), que com o valor de venda fixo em R\$ 0,75, continua não viabilizando esses custos que chega em torno de R\$ 513,79 mensais (Valor da mão-de-obra = R\$ 503,05 + % Imposto (PIS e COFINS) = R\$ 10,74), contra um lucro de R\$ 286,46 mensais (Valor de venda do resíduo Triado * Qtd de resíduo). Por isso, foi realizada a análise com o ‘Valor de venda do resíduo triado’, para identificar o impacto que ocasionaria nos membros do sistema.

O resultado apontou que com um aumento de 20% há um ponto de equilíbrio positivando o VPL da empresa Triadora, porém nota-se que esse aumento não impacta a Indústria (VPL se mantém igual em qualquer oscilação de valor), pois no sistema piloto, a empresa Investidora compra esse resíduo da Triadora e repassa ao Reciclador sem custo, não

impactando também à Indústria. Desta forma, também ocorre com a Logística, no sistema piloto todas as suas operações relacionadas ao transporte do resíduo são pagas pela Investidora, não resultando em custos, o que gera lucro a esta empresa são as vendas de coletores de calçados às lojas oficiais e governança do sistema, dois serviços com alta lucratividade.

Assim, pelas inclinações das retas na **Figura 15**, o resultado indicou que a variável que mais impacta todos os membros dos sistemas é o baixo volume de resíduo recolhido, além disso a empresa Triadora é prejudicada com o valor de venda deste resíduo, não sendo suficiente para gerar lucro. Antes de realizar o estudo e apresentar os resultados aos membros do sistema no *workshop 1* a gestora da empresa Triadora não estava ciente de que não estava lucrando. Este último fato pode ter relação com a maturidade gerencial das empresas de separação e triagem de resíduos no Brasil, nem sempre elevada (VOIGT et al., 2016).

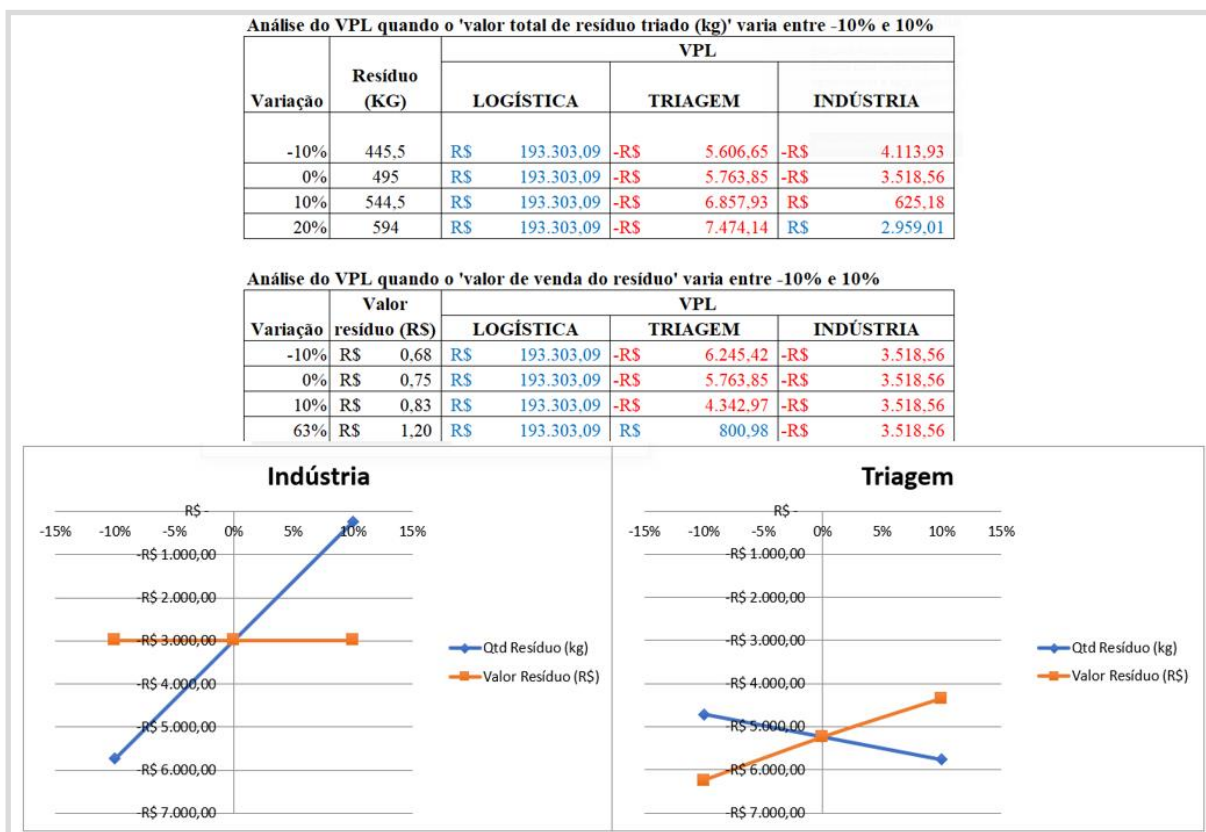


Figura 15. Resultados da Análise de Sensibilidade

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Posteriormente, foi realizada uma Análise de Cenários considerando o cenário Atual e o cenário considerado Otimista. O cenário atual já tinha características indesejadas, por isso não foi criado um cenário pessimista. Considerando os aumentos de 20% (20 Kg) na quantidade de 'resíduos recolhidos no ponto de coleta seletiva próprio (kg)' da empresa Triadora e o

aumento de 63% (R\$ 0,45) no valor de ‘venda dos resíduos triados’, configurava-se um cenário de ganhos mútuos (*win-win*), como apresenta a **Figura 16**.

Resumo do cenário		Otimista	Cenário Atual
Células variáveis:			
20%	Total de Resíduos triados (Kg)	594	495
63%	Valor de venda do resíduo (R\$)	R\$ 1,20	R\$ 0,75
Células de resultado:		VPL	VPL
LOGÍSTICA		R\$ 193.303,09	R\$ 193.303,09
TRIAGEM		R\$ 800,98	-R\$ 5.763,85
INDÚSTRIA		R\$ 2.959,01	-R\$ 3.518,56

Figura 16. Resultados da Análise de Cenários

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Para a empresa Triadora, as variáveis críticas foram, volume de resíduo e o valor de venda do resíduo triado por kg. Hoje o triador cobra R\$ 0,75/kg, tornando o custo maior que o ganho. Analisando-se este mesmo cenário, caso o ator venda o resíduo triado por R\$1,20/kg, positiva o VPL. O ponto de equilíbrio está em torno de R\$1,15/kg.

Para a empresa Transformadora, considerando-se um volume de 458 Kg, com uma perda de 36% pelo ator Reciclador (mistura de marcas diferentes, tiras, metais, processos), e considerando-se que para cada 1m² de piso seria necessário 15 Kg de material, chegar-se-ia à um volume total de comercialização do produto final de aproximadamente 20,5 m²/mês. Dado que o valor de venda será R\$ 125,00 m² de piso e considerando-se os custos (ensaio em laboratório, campanha de *marketing* + custo de produção e matéria-prima), o VPL retorna negativo. Caso o ator consiga atingir a venda de 30 m²/mês de piso, terá um valor positivo de VPL. O ponto de equilíbrio é 26,0 m²/mês do produto final.

Etapa D3 - Simulação de Monte Carlo

Neste estudo, buscou-se fazer um teste da aplicação da simulação de Monte Carlo, visando avaliar o risco das decisões. Os *inputs*, *outputs* e distribuições de probabilidades definidas estão apresentados na **Figura 17** a seguir. Os *inputs* são os dados que variam na simulação seguindo os parâmetros definidos pelas distribuições de probabilidade definidas. Enquanto os *outputs* são os resultados obtidos pela variação dos *inputs* do sistema. Os *outputs* são fundamentais e devem representar as respostas para as questões que estamos buscando responder com a simulação. Igualmente importante é a configuração dos dados de entrada, que devem ser precisos e demandam tecnologia computacional (HARRISON, 2010).

A principal distribuição de probabilidade utilizada neste estudo foi a triangular. Ela foi utilizada por ser uma distribuição simples e útil quando se tem poucos dados. Conhecendo-se um valor mínimo (a), um valor máximo (b) e um valor mais provável (c) é possível obter uma distribuição que resulta em uma boa aproximação das probabilidades de ocorrência do evento estudado.

Desta forma, foi possível solicitar aos gestores para cada variável de entrada três valores específicos: o valor mais provável da variável analisada, o valor mínimo e o valor máximo atingível. Para os valores extremos, solicitou-se aos gestores que pensassem sobre valores pouco exequíveis (ou seja, possíveis), mas que eventualmente pudessem ocorrer ou já tivessem ocorrido com baixa frequência.

ATOR	INPUT	CATEGORIA	VALOR	DISTRIBUIÇÃO	PARÂMETROS
INVESTIDOR	% de taxa crescimento de resíduo lojas e condomínios	-	0%	Triangular	Mínimo -0,1; Mais provável 0; Máximo 0,1
LOGÍSTICA	Total de resíduos recolhidos (Kg)	-	450	Laplace	Média 450; Desvio 90
TRIAGEM	% de taxa crescimento de resíduo coleta seletiva	-	0%	Triangular	Mínimo -0,1; Mais provável 0; Máximo 0,1
TRIAGEM	Qtd de resíduos ponto de coleta seletiva próprio (Kg)	-	100	Laplace	Média 100; Desvio 20
TRIAGEM	Valor de venda do resíduo triado (R\$)	Ganho	0,75	Triangular	Mínimo 0,65; Mais provável 0,75; Máximo 1,50
RECICLADOR	% marcas diversas	Perda	30%	Triangular	Mínimo 0,285; Mais provável 0,3; Máximo 0,315
RECICLADOR	% de perda materiais + haste	Perda	6%	Triangular	Mínimo 0,057 ; Mais provável 0,06; Máximo 0,063
INDÚSTRIA	Valor de venda do produto final (R\$/m ²)	Ganho	150	Triangular	Mínimo 135; Mais provável 150; Máximo 165

ATOR	OUTPUT	CATEGORIA
LOGÍSTICA	VPL (R\$)	Resultado
TRIAGEM	Total de resíduos triados (Kg)	-
TRIAGEM	VPL (R\$)	Resultado
RECICLADOR	% total de perda	Perda
INDÚSTRIA	Total de piso de absorção de impacto (m ² /mês)	-
INDÚSTRIA	VPL	Resultado

Figura 17. Inputs e outputs da Simulação de Monte Carlo

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Na análise do método de Simulação de Monte Carlo, a variável dependente, ou de saída (*output*), é o VPL de cada empresa, além das variáveis críticas ao sistema, tais como Total de resíduos triados (Triagem), % total de perda de resíduo (Reciclador) e Total de piso de absorção de impacto (m²) (Transformadora). E as variáveis independentes, ou de entrada (*input*), são os elementos que compõem as premissas das empresas membros do sistema, tais como ganhos, custos, despesas operacionais, perdas, entre outras.

Estas variáveis independentes assumem comportamentos probabilísticos para a realização da Simulação de Monte Carlo. No caso do exemplo da **Figura 17**, foi considerada como variável independente para a empresa investidora o ‘% de taxa de crescimento de resíduos em lojas’ com distribuição triangular assumindo valores de mínimo, mais provável e máximo equivalentes a -10% (diminuição na taxa de resíduo), 0% (não ter crescimento) e 10% (aumento na taxa de resíduo). Para a empresa de Logística, o *output* utilizado na análise foi ‘Total de

resíduos recolhidos (kg)’. Por possuir dados históricos, mesmo sendo relativos a curto período (12 meses, dados extraídos mensalmente), usou-se o *software @risk* para identificar a distribuição de probabilidade destes dados, resultando em uma distribuição Laplace (utilizada neste estudo com restrições em virtude do número reduzido de dados). A distribuição assumiu valores de média igual a 450 kg e desvio de 20 kg.

Para a empresa Triadora, foram utilizadas as variáveis de entrada de ‘% de taxa de crescimento de resíduos recolhidos na coleta seletiva’ (valores de mínimo = -10%, mais provável = 0% e máximo = 10%) e ‘Valor de venda do resíduo triado’ (valores de mínimo = R\$ 0,65, mais provável = R\$ 0,75 e máximo = R\$ 1,50), ambas assumindo distribuição triangular. Por fim, as variáveis relacionadas a perdas (% de marcas diversas e % de perdas de material) foram empregadas na análise da empresa Recicladora e ganhos (Valor de venda do produto final), na análise da empresa Transformadora, todas com distribuição de probabilidade triangular (**Figura 17**).

Na Figuras 16 e 17, observa-se que os principais elementos a serem flexibilizados na análise de riscos de projetos são os itens de custos e ganhos dos membros do sistema (que podem ser diferentes dos estimados, dependendo do evento que ocorrer) e a duração, ou seja, o prazo de execução do projeto piloto (*payback*). Entretanto, outros elementos que compõem o sistema também podem ser apresentados em forma de uma distribuição de probabilidades, e não como um valor único, determinístico. A simulação gera uma distribuição de probabilidades para a variável resultante da análise, no caso do exemplo o VPL. Com esta resposta, é possível identificar a chance de o lucro do sistema ser superior a \$0,00 ou a outro valor predeterminado, auxiliando na tomada de decisão.

A partir dos dados apresentados na Figura 15, realizou-se a simulação considerando 50000 iterações e, para a análise de resultados, utilizou-se os gráficos dos VPLs resultantes para cada membro do sistema. A **Figura 18** apresenta o gráfico resultante do VPL da empresa Triadora. Utilizando um intervalo de confiança de 90%, o VPL do ator Triagem variou de – R\$ 29.351,00 a R\$ 2.611,00. Nas condições analisadas e, considerando-se as limitações de análise mencionadas previamente, a probabilidade de o VPL ser positivo foi de apenas 17,7%.

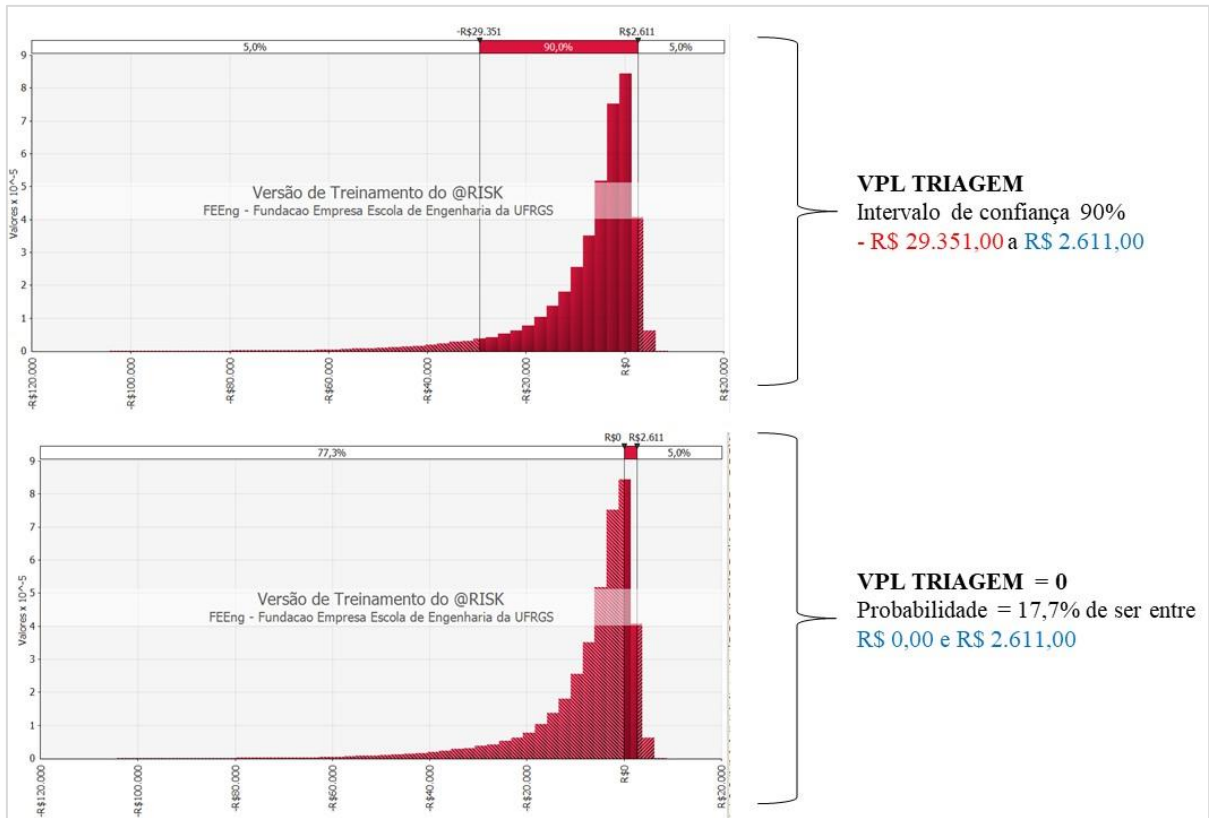


Figura 18. Resultado da simulação para a empresa Triadora

Fonte: resultado fornecido pelo *software* @RISK (2022).

A **Figura 19** apresenta o gráfico resultante do VPL da empresa Transformadora. Com intervalo de confiança de 90%, o VPL do ator Indústria variou de –R\$ 10.547,00 a R\$ 4.756,00. Neste caso, a probabilidade de o VPL assumir valores positivos foi semelhante, de 16,7%.

A análise dos gráficos possibilita inferir que o sistema, como se encontra no momento do estudo, dificilmente configuraria uma situação de benefícios recíprocos. Apesar das limitações impostas pelos dados, a simulação reforça o que as análises anteriores já haviam indicado. Nas condições operacionais iniciais o projeto piloto não tem sustentabilidade, porque é financiado pela empresa investidora. Igualmente, dificilmente alcançaria a sustentabilidade se os valores das variáveis se mantivessem nos padrões iniciais. O risco do projeto seria intolerável para as empresas Triadora e Transformadora. Os resultados da análise de viabilidade desenvolvida na Fase D quanto a simulação reforça a necessidade de haver intervenção nas operações do processo, desde o aumento do volume de calçados coletados e uma revisão dos custos logísticos.

As condições de partida do projeto piloto são desfavoráveis e não atrativas aos membros do sistema, se considerada a premissa de que todos devem ganhar e os valores percebidos por cada membro. Essa condição desfavorável não é necessariamente surpreendente. O projeto

precisava ser iniciado e, para tanto, condições de processamento tiveram que ser definidas. E neste contexto, a realização cedo do estudo de viabilidade econômico-financeira revela o seu valor, na medida que oferece elementos para que ações sejam realizadas, sem que um haja transcorrido um espaço de tempo longo.

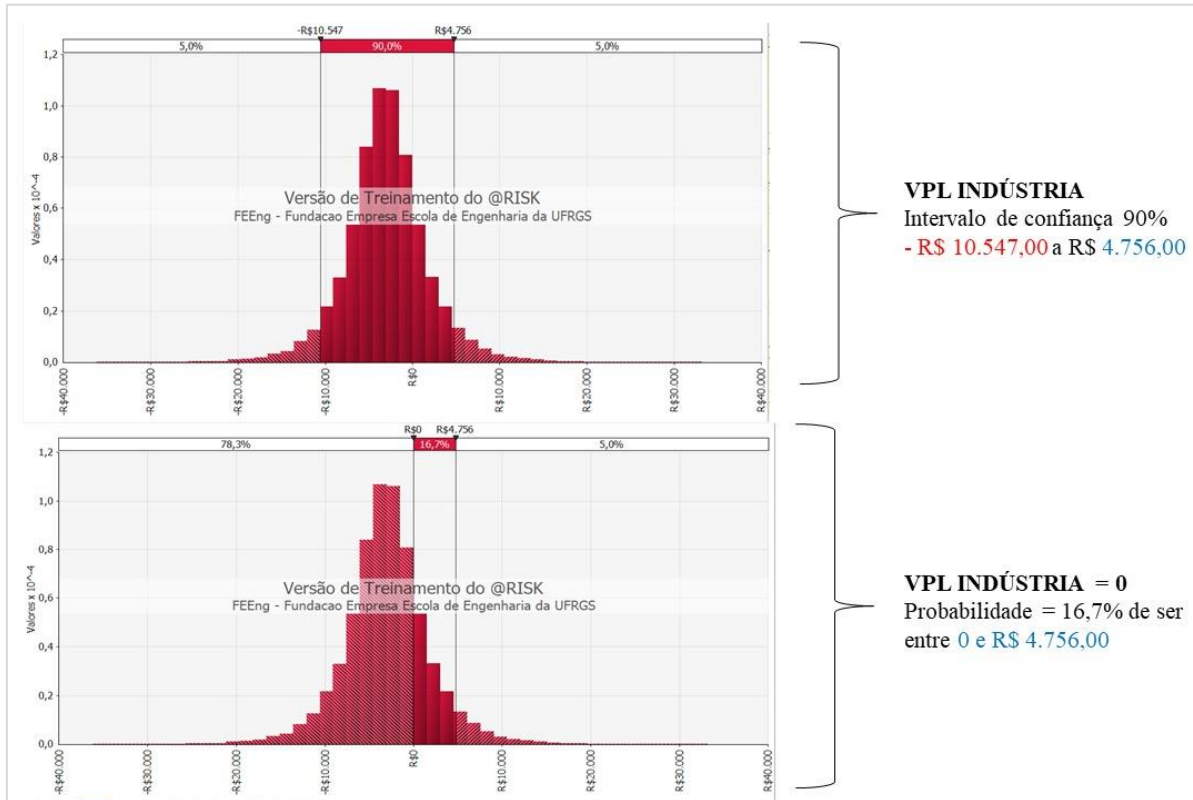


Figura 19. Resultado da simulação para a empresa Transformadora

Fonte: resultado fornecido pelo *software* @RISK (2022).

Da mesma forma, os resultados apresentados atestam a funcionalidade da ferramenta desenvolvida para análise de um sistema interorganizacional de EC. A viabilidade econômico-financeira e a simulação de Monte Carlo deveriam ser realizadas em períodos recorrentes para acompanhar a evolução do sistema até sua estabilidade.

Após a conclusão das análises foi realizado uma reunião de avaliação do instrumento (*workshop* 2) com a participação dos gestores da empresa Investidora e de Logística. Nele foram apresentadas a funcionalidade do instrumento, os resultados dos indicadores e simulações foram realizados com os dados levantados na análise de cenário, por último, propostas de trabalhos futuros foram apresentadas. Para documentação do trabalho realizado sobre o sistema piloto (metodologia, resultados e funcionalidade do instrumento) foi escrito um relatório e entregue às empresas contratantes do estudo.

A escolha de utilizar o Excel® para elaboração do instrumento por um lado facilita o acesso e compreensão dos líderes de todas as empresas membro, visto que é uma ferramenta acessível e conhecida. Por outro lado, a versão criada exige que haja um profissional qualificado para fazer as alterações na planilha sempre que houver inclusão de novas premissas no sistema. As operações e cálculos entre as variáveis deverão ser revistas exigindo conhecimento do excel e de engenharia econômica. Este protótipo serve de inspiração para o desenvolvimento futuro de uma ferramenta automatizada, por meio de programação, que torne a usabilidade mais simples para os gestores das empresas membro. Isso não eliminará a necessidade de existirem profissionais habilitados em engenharia econômica dentro desses projetos.

Por fim, em relação as fases apresentadas neste estudo, a integração das fases da metodologia proposta para o sistema piloto circular da borracha de calçado com a metodologia da Análise de Viabilidade Econômico-Financeira são apresentadas na **Figura 20**.

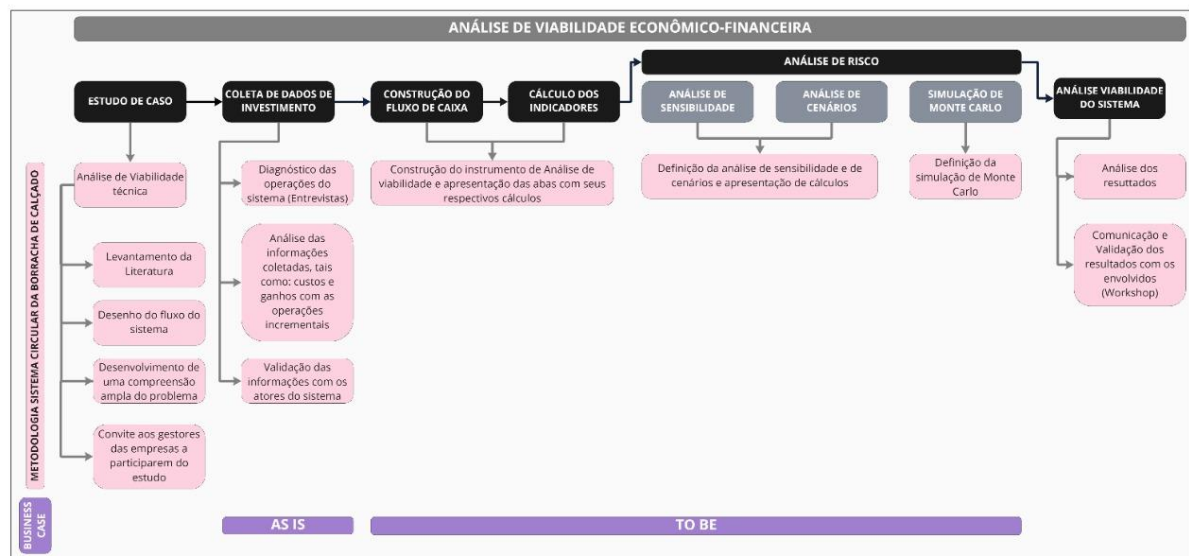


Figura 20. Integração das etapas da metodologia do sistema circular com as da Análise de Viabilidade Econômico-Financeira.

A metodologia proposta visa trazer um maior detalhamento às etapas de AVEF, dado que esta está totalmente integrada na análise de viabilidade.

5. IMPLICAÇÕES DO ESTUDO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Saputra et al. (2022) argumentam que a borracha pós-consumo perde, parcial ou totalmente, as suas propriedades que a tornavam interessantes economicamente, exigindo algum reprocessamento em suas cadeias. O resgate do valor da borracha do calçado neste estudo teve caráter ‘físico’ (ADHIKARI et al., 2000) uma vez que sua moagem permitiu a transformação em novo produto, e promoveu uma ressignificação do material. Na opinião dos líderes da empresa Transformadora, o simbolismo da marca do calçado, não se perderia na reciclagem, pelo contrário, seria transferido para o novo produto elaborado com seu resíduo (tatame, piso), agregando mais valor a este último.

O desafio técnico de desenhar e implementar um sistema interorganizacional perpassa a identificação, seleção, aproximação e integração de empresas de naturezas diferentes que se complementem em termos de operações produtivas. Além das distintas naturezas, costuma haver uma assimetria de maturidade em gestão e de confiança entre as empresas, o que dificulta o acesso a dados, que já são escassos nestes sistemas nascentes. Este fato foi evidenciado pelo comportamento do gestor da empresa Recicladora.

O *workshop* de alinhamento (*workshop 1*) revelou-se um instrumento necessário e válido para aproximação dos gestores das empresas do sistema interorganizacional. A reunião de avaliação do instrumento (*workshop 2*) com as empresas contratantes do estudo foi o germen de ações de governança do sistema. A reunião possibilitou reflexão sobre os problemas existentes no sistema, ainda em ambiente controlado, sem a participação dos demais membros. Conforme mencionado, a assimetria de maturidade em gestão, poderia levar os demais membros a se desmotivarem frente ao resultado inicial, sendo necessário desenhar uma estratégia de abordagem. Os pontos de melhoria teriam que ser identificados e, apresentados adequadamente. Estas melhorias seriam então negociadas.

Uma das vantagens do *dashboard* proposto para a análise de viabilidade econômico-financeira é a possibilidade de realização de simulações de valores para as variáveis incluídas no modelo. Mesmo sem ter realizado investimentos vultosos, os membros do sistema terão uma base para refletir de forma conjunta e encontrar caminhos alternativos em direção a melhores resultados financeiros.

Outra vantagem é que o *dashboard* permite visualizar o sistema como um todo e individualmente por ator, identificando qual o ator que está sendo mais ou menos prejudicado. Embora o desempenho da empresa de Logística pudesse viabilizar, teoricamente, o sistema

como um todo, ele não é suficiente para assegurar a permanência das outras empresas que não estão tendo desempenho satisfatório.

A literatura consultada no início desta pesquisa revelou que em relação as análises utilizadas neste estudo, Kerdlap et al. (2020) afirmam que não é a análise propriamente dita baseada em técnicas como o VPL que deixa o estudo insuficiente, mas sim o uso inadequado da técnica por si. Uma análise de VPL pode ser ‘bem’ realizada em um projeto, caso todas as opções sejam conhecidas a priori. Uma limitação que as análises iniciais dos sistemas interorganizacionais nascentes trarão é à indisponibilidade de dados históricos, à exemplo do que ocorreu neste estudo. Portanto, justifica-se à aplicação do método ainda que sob estas condições, porque uma linha de base será criada para que sirva de referência ao longo do amadurecimento do sistema. Outra limitação deste trabalho é que o modelo foi desenvolvido em planilhas eletrônicas do Excel® considerando as variáveis levantadas no início do sistema. À medida que o processo de cada empresa seja alterado, as variáveis poderão sofrer ajustes, demandando reestruturação do conjunto de planilhas de entrada e de saída dos dados.

Considerando os métodos quantitativos para análise de riscos em projetos conceituados, estudos apontam como mais utilizados a Análise de Sensibilidade e de Cenários, com alto grau de aplicação nas empresas, e alguns métodos probabilísticos, como Simulação de Monte Carlo, estes com menor adesão por parte das empresas (MAZHDRAKOV, 2018). A pouca utilização de métodos mais sofisticados para análise de riscos é justificada por alguns autores devido à dificuldade de compreensão dos mesmos por parte dos gestores (JIN, 2018), o que foi em parte percebido neste estudo. Porém, com a crescente complexidade dos projetos realizados pelas empresas, além do aumento da instabilidade de fatores circundantes ao mesmo, está aumentando a necessidade de uma avaliação mais dinâmica.

Por um lado, Zwikael e Ahn (2011) destacam que o uso de ferramentas de gestão de riscos ainda é insuficiente em alguns setores e/ou empresas devido à falta de qualidade nos usos das técnicas disponíveis, falta de liderança em relação ao controle de riscos, falta de conscientização da eficiência de tais ferramentas e, em alguns casos, alta complexidade de ferramentas existentes. Por outro lado, à complexidade de implementação de sistemas circulares interorganizacionais, exija também um grau de sofisticação maior e, espera-se, que a aplicação de ferramentas como as apresentadas neste estudo, acelere o processo de amadurecimento. Estima-se que as empresas mais maduras, ao fomentarem o uso de determinadas ferramentas, como ocorreu neste caso acabem influenciando as que estão em níveis menores de maturidade.

Pode-se perceber que o uso de métodos mais complexos como Simulação de Monte Carlo justifica-se em um ambiente também de maior complexidade como, por exemplo, quando

as variáveis possuem comportamento contínuo. Entretanto, destaca-se que os métodos apresentados neste capítulo não são excludentes, mas sim complementares. Os métodos quantitativos determinísticos são indicados para identificar variáveis críticas do sistema, por exemplo, podendo para estas serem utilizados métodos mais avançados (probabilísticos) para o aprofundamento da análise. Em alguns casos, eventualmente, o uso somente de métodos quantitativos determinísticos pode ser eficiente, dado a simplicidade do projeto e de seus potenciais eventos (KARANOVIC et al., 2010).

Independentemente do método escolhido para ser utilizado para a análise de riscos, faz-se necessário que as empresas tenham estruturado de forma sistemática este processo de gestão. De La Roque e Lobo (2005) afirmam que o exercício de simular de forma antecipada os resultados possíveis de uma empresa em diferentes cenários e interpretá-los, gera um processo de autoconhecimento contínuo para a organização, proporcionando maior segurança em suas tomadas de decisão.

Em relação as análises aqui realizadas, diante do contexto de sistemas circulares, Kerdlap (2020) salienta que estudos têm se concentrado em analisar o pilar ambiental da Economia Circular, mas menos o desempenho econômico, trazendo resultados relacionados ao sistema como um todo. Afirmam que poucos mostram a performance individual de cada membro do sistema, deixando, muitas vezes de apresentar como a troca de resíduo acontece entre eles e qual o impacto que gera entre as entidades envolvidas. Para fazer a análise de *multilevel* de Kerdlap et al. (2020) é necessário construir para cada empresa uma análise de custos para analisar o custo do todo. No nível de sistemas interorganizacionais, é muito semelhante. O que é custo para uma empresa pode ser receita para outra, por isso a necessidade de analisar individualmente.

Ressalta-se que em sistemas interorganizacionais existem diferentes stakeholders, cada qual com seus objetivos específicos ocasionando em um alto grau de complexidade na gestão dessas empresas dentro do sistema. Além disso, variáveis sociais e ambientais precisariam estar incluídas no estudo para contemplar as expectativas de valor dos membros do sistema, o que foi uma limitação do estudo (**Figura 13**). Desta forma, a implementação de governança do sistema circular é desejável com o intuito de medir o desempenho de forma regular e contínua.

Kerdlap et al. (2020) estudaram sistemas circulares em contexto de parques industriais e aplicaram LCA e LCC, o que geralmente envolve à análise de todas as etapas do ciclo de vida, dependendo do recorte do estudo. Nesta pesquisa, o recorte da análise partiu do final da vida útil do calçado, à partir do descarte pelo consumidor final e o material perpassa as empresas membro sofrendo transformação até se converter em novo material. No caso de simbiose

industrial, o resíduo de uma empresa pode ser matéria-prima da outra, mas não necessariamente a operação subsequente se torna dependente das operações que à antecederam numa reação em cadeia. No sistema interorganizacional estudado, os riscos e problemas de um elo, podem ser repassados para o elo subsequente numa reação cumulativa de impactos (financeiros, ambientais, outros).

Este estudo centrou-se apenas na análise dos fluxos do material ‘borracha’ do calçado. Os fluxos e caminhos percorridos pelos demais componentes como as tiras de PVC ou metais, por exemplo, não foram avaliados. Estes poderiam permanecer no mesmo sistema ou em outros sistemas produtivos que os consumissem como matérias-primas. Análises de viabilidade teriam que ser desenhadas para estes componentes.

Não foi possível obter as informações/premissas da empresa Recicladora. Algumas informações foram geradas a partir das entrevistas, não havendo confirmação a partir de dados secundários. Também pela falta de dados históricos, por ser um estudo de um sistema nascente, as análises realizadas, principalmente de simulação de Monte Carlo não trouxeram resultados consistentes a ponto de tomar decisões com alta probabilidade de certeza.

Em contrapartida, oportunidades para trabalhos futuros foram levantadas e apresentadas nesta seção. Para prover a quantidade de resíduos suficiente para viabilizar o sistema, o estudou apontou alternativas para aumento da coleta de calçados de borracha pós-consumo e/ou inserção de produtos resultantes deste sistema (tatame e/ou tapete playground pós-consumo), fazendo simulações do sistema de produção. Também, deve ser analisado o processo de separação criando diferentes cenários com uso de tecnologia e/ou novas operações (coletores, máquinas e/ou processos), através de mapeamento dos fluxos, destacando as atividades que agregam valor e propondo melhorias para as operações, para que este seja otimizado e gere menos custo à empresa Triadora.

Visando a otimização de custos logísticos, podem ser mapeadas as distâncias, os volumes transportados relacionando com as necessidades de produção e realização de simulações. Para viabilizar o sistema financeiramente, mapeamento de fontes de incentivo e financiamento e orientação na elaboração de projetos para captação de recursos. Busca por fontes (públicas, privadas, nacionais e/ou internacionais) de financiamento que viabilizem a implantação dos projetos. Criação de um modelo de negócios e fundos de investimento.

A reinserção dos produtos finais em sistema circular pode ser estudo realizando um desenho experimental estatístico com recomendações projetuais e estudo sobre o ciclo de vida do produto para evitar que se torne um resíduo no final da vida útil (mapeamento dos sistemas relacionados). Uma pesquisa de mercado para entender o consumo do produto final criado a

partir do sistema circular pode ser realizada e analisada a partir de técnicas como *Conjoint Analysis*.

REFERÊNCIAS

- ABDI, A. et al., 2021. A set of calibrated metaheuristics to address a closed-loop supply chain network design problem under uncertainty. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, v. 8, n. 1, p. 23-40.
- ABICALÇADOS, 2019. Relatório Setorial: Indústria de Calçados – Brasil 2019. Disponível em: <http://abicalcados.com.br/publicacoes/relatorio-setorial>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- ADHIKARI, B., DE, Debapriya, MAITI, S, 2000. Reclamation and recycling of waste rubber. *Progress in polymer science*, v. 25, n. 7, p. 909-948.
- ALBERS, S. The Governance of Collective Action: On governance systems. In: *The Design of Alliance Governance Systems*. Springer Gabler, Wiesbaden, p. 49-101, 2005.
- ANDERSON, R. C., WHITE, R, 2009. Confessions of a radical industrialist: Profits, people, purpose--Doing business by respecting the Earth. St. Martin's Press.
- ARNOLD, U., YILDIZ, Ö., 2015. Economic risk analysis of decentralized renewable energy infrastructures—A Monte Carlo Simulation approach. *Renewable Energy*, v. 77, p. 227-239.
- ASCIUTO, A. et al., 2019. A financial feasibility study of an aquaponic system in a Mediterranean urban context. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 38, p. 397-402.
- AXELROD, R., COHEN, M., 2000. *Harnessing Complexity Organizational Implications of a Scientific Frontier* Free Press.
- BAINES, T., LIGHTFOOT, H., 2013. *Made to serve: How manufacturers can compete through servitization and product service systems*. John Wiley & Sons.
- BARDIN, L., 2009. *Análise de conteúdo*, Edições 70, Lisboa. Portugal, LDA, 288p.
- BARQUET, A. P. B. et al., 2013. Employing the business model concept to support the adoption of product–service systems (PSS). *Industrial Marketing Management*, v. 42, n. 5, p. 693-704.
- BATISTA, L. et al., 2019. Circular supply chains in emerging economies—a comparative study of packaging recovery ecosystems in China and Brazil. *International Journal of Production Research*, v. 57, n. 23, p. 7248-7268.
- BEKCHANOV, M.; MIRZABAEV, A, 2018. Circular economy of composting in Sri Lanka: Opportunities and challenges for reducing waste related pollution and improving soil health. *Journal of Cleaner Production*, v. 202, p. 1107-1119.
- BIANCHI, I. et al., 2022. Life cycle impact assessment of safety shoes toe caps realized with reclaimed composite materials. *Journal of Cleaner Production*, v. 347, p. 131321.
- BJÖRNSDÓTTIR, A. R., 2010. *Financial Feasibility Assessments. Building and Using Assessment Models for Financial Feasibility Analysis of Investment Projects*. Tese de Doutorado.
- BLANK, L.; TARQUIN, A. *Basics of engineering economy*. New York: McGraw-Hill Higher-Education, 2008.

BLANK, L.; TARQUIN, A., 2012. Benefit/cost analysis and public sector economics. *Engineering Economy*, p. 312-345.

BRAND, F. C.; RIGONI, E. H.; VERSCHOORE, J. R., 2014. Governança interorganizacional: Um estudo do relacionamento entre agentes econômicos do setor de flores. *Desenvolve Revista de Gestão do Unilasalle*, v. 3, n. 1, p. 99-111.

BRESSANELLI, G.; PERONA, M.; SACCANI, N., 2019. Challenges in supply chain redesign for the Circular Economy: A literature review and a multiple case study. *International Journal of Production Research*, v. 57, n. 23, p. 7395-7422.

CALANDRO, M. L., CAMPOS, S. H., 2016. APL Calçadista Sinos-Paranhana: o segmento de calçados de alto valor agregado. RM da. MACADAR, BM de; COSTA (Ed.), *Aglomerações e Arranjos Produtivos Locais no Rio Grande do Sul*, p. 444-486.

CALZOLARI, T., GENOVESE, A., BRINT, A., 2022. Circular Economy indicators for supply chains: A systematic literature review. *Environmental and Sustainability Indicators*, v. 13, p. 100160.

CARMICHAEL, D. G., BALATBAT, M. CA., 2008. Probabilistic DCF analysis and capital budgeting and investment—a survey. *The Engineering Economist*, v. 53, n. 1, p. 84-102.

CASAROTTO FILHO, N., KOPITKE, B. H., 2000. *Análise de investimentos: matemática financeira; engenharia econômica; tomada de decisão; Estratégia empresarial*. 9.ed. São Paulo: Atlas.

CHAN, F.T., PRAKASH, A., 2012. Inventory management in a lateral collaborative manufacturing supply chain: a simulation study. *International Journal of Production Research*, v. 50(16), p. 4670-4685.

CHANG, C., 2022. Constructing an intelligent shoe production plant using a green supply chain and knowledge management. *Knowledge Management Research & Practice*, v. 20, n. 1, p. 46-57.

CHERTOW, M. R., 2000. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. *Annual review of energy and the environment*, v. 25, n. 1, p. 313-337.

CHERTOW, M. R., 2007. “Uncovering” industrial symbiosis. *Journal of industrial Ecology*, v. 11, n. 1, p. 11-30.

CHERTOW, M., PARK, J., 2016. *Scholarship and practice in industrial symbiosis: 1989–2014*. In: *Taking stock of industrial ecology*. Springer, Cham, p. 87-116.

CIMINO, M. A., ZANTA, V. M., 2005. Gerenciamento de pneumáticos inservíveis (GPI): análise crítica de ações institucionais e tecnologias para minimização. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 10, n. 4, p. 299-306.

COULIBALY, L., 2021. Ivorian artist turns discarded flip-flops from beach into masterpieces. Reuters, Abidjan, 13 de agosto de 2021. Disponível em: <https://www.reuters.com/lifestyle/ivorian-artist-turns-discarded-flip-flops-beach-into-masterpieces-2021-08-13/>. Acesso em: 29 de julho de 2022.

DA SILVA, E. L., MENEZES, E. M., 2005. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. UFSC, Florianópolis, 4a. edição, v. 123.

DE CAMPOS, E. A. R. et al., 2020. The effect of collaboration and IT competency on reverse logistics competency-Evidence from Brazilian supply chain executives. *Environmental impact assessment review*, v. 84, p. 106433.

DE CAMPOS, E. A. R. et al., 2021. A grey-DEMATEL approach for analyzing factors critical to the implementation of reverse logistics in the pharmaceutical care process. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, n. 11, p. 14156-14176.

DE JACQUES, J. J., 2011. Estudo de iniciativas em desenvolvimento sustentável de produtos em empresas calçadistas a partir do conceito berço ao berço. Tese de doutorado.

DE LA ROQUE, E., LOBO, L. H., 2005. Gestão de riscos e a lei Sarbanes-Oxley. *Revista RI*, p. 26-27.

DE OLIVEIRA NETO, G. C., DE CARVALHO CHAVES, L. E., VENDRAMETTO, O., 2010. Vantagens econômicas e ambientais na reciclagem de poliuretano em uma empresa de fabricação de borracha. *Exacta*, v. 8, n. 1, p. 65-80.

DE PAULA, Istefani Carisio et al. Are collaboration and trust sources for innovation in the reverse logistics? Insights from a systematic literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*, 2019.

DEV, N. K., SHANKAR, R., QAISER, F. H., 2020. Industry 4.0 and circular economy: Operational excellence for sustainable reverse supply chain performance. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 153, p. 104583.

DIJKSTERHUIS, M. S., VAN DEN BOSCH, F. AJ., VOLBERDA, H. W., 1999. Where do new organizational forms come from? Management logics as a source of coevolution. *Organization Science*, v. 10, n. 5, p. 569-582.

DINSMORE, P. C. et al., 2003. Como se tornar um profissional em gerenciamento de projetos. Editora Qualitymark, SP.

DOBROTĂ, D., DOBROTĂ, G., DOBRESCU, T., 2020. Improvement of waste tyre recycling technology based on a new tyre markings. *Journal of Cleaner Production*, v. 260, p. 121141.

DURACCIO, V., GNONI, M. G., ELIA, V., 2015. Carbon capture and reuse in an industrial district: A technical and economic feasibility study. *Journal of CO2 Utilization*, v. 10, p. 23-29.

DZHENGIZ, T., 2020. A literature review of inter-organizational sustainability learning. *Sustainability*, v. 12, n. 12, p. 4876.

ELIA, V., GNONI, M. G., TORNESE, F., 2017. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. *Journal of cleaner production*, v. 142, p. 2741-2751.

ERIKSSON, L., MORANDIN, M., HARVEY, S., 2018. A feasibility study of improved heat recovery and excess heat export at a Swedish chemical complex site. *International Journal of Energy Research*, v. 42, n. 4, p. 1580-1593.

FARKAVCOVA, V. G., RIECKHOF, R. GUENTHER, E., 2018. Expanding knowledge on environmental impacts of transport processes for more sustainable supply chain decisions: A case study using life cycle assessment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 61, p. 68-83.

FISU, A. A. et al., 2020. Economic & Financial Feasibility Analysis of Tarakan Fishery Industrial Estate Masterplan. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing.

FOŘT, Jan et al. Environmental Consequences of Rubber Crumb Application: Soil and Water Pollution. *Polymers*, v. 14, n. 7, p. 1416, 2022.

FRIEDE, Gunnar; BUSCH, Timo; BASSEN, Alexander. ESG and financial performance: aggregated evidence from more than 2000 empirical studies. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, v. 5, n. 4, p. 210-233, 2015.

GEERTS, Guido L. A design science research methodology and its application to accounting information systems research. *International journal of accounting Information Systems*, v. 12, n. 2, p. 142-151, 2011.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 114, p. 11–32, 2016.

GIESE, Guido et al. Foundations of ESG investing: How ESG affects equity valuation, risk, and performance. *The Journal of Portfolio Management*, v. 45, n. 5, p. 69-83, 2019.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOVINDAN, K.; HASANAGIC, M. A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. *International Journal of Production Research*, v. 56, n. 1-2, p. 278-311, 2018.

GUISE-RICHARDSON, Cai. Redefining Vulcanization: Charles Goodyear, patents, and industrial control, 1834-1865. *Technology and Culture*, v. 51, n. 2, p. 357-387, 2010.

HARRISON, Robert L. Introduction to monte carlo simulation. In: *AIP conference proceedings*. American Institute of Physics, 2010. p. 17-21.

HERMOSO-ORZÁEZ, Manuel Jesús et al. Thermochemical and economic analysis for energy recovery by the gasification of WEEE plastic waste from the disassembly of large-scale outdoor obsolete luminaires by LEDs in the Alto Alentejo Region (Portugal). *Applied Sciences*, v. 10, n. 13, p. 4601, 2020.

HILLSON, David. Extending the risk process to manage opportunities. *International Journal of project management*, v. 20, n. 3, p. 235-240, 2002.

HOLLAND, John H.; OCULTA, A. *Ordem. como a adaptação gera a complexidade*. Trad. de José Luís Malaquias. Lisboa: Gradiva, 1997.

JEIHOONIAN, M.; ZANJANI, M. K.; GENDREAU, M.. Closed-loop supply chain network design under uncertain quality status: Case of durable products. *International Journal of Production Economics*, v. 183, p. 470-486, 2017.

JIN, Maozhu; WANG, Yanan; ZENG, Yucheng. Application of data mining technology in financial risk analysis. *Wireless Personal Communications*, v. 102, n. 4, p. 3699-3713, 2018.

JIN, W.; ZHANG, Q.; LUO, J. Non-collaborative and collaborative financing in a bilateral supply chain with capital constraints. *Omega*, v. 88, p. 210-222, 2019.

JUNG, Seok; DODBIBA, Gjergj; FUJITA, Toyohisa. Economic evaluation of recycled waste acid and alkali solutions in the printed circuit board process of the eco-industrial park. *Resources Processing*, v. 59, n. 1, p. 9-16, 2012.

JÚNIOR, Edilson Pereira; SAMPAIO, José Eudázio Honório. Convergências e contradições do novo mapa da indústria de Calçados no Brasil. *Revista Entre-Lugar*, v. 11, n. 21, p. 75-100, 2020.

KARANOVIC, Goran; BARESA, Suzana; BOGDAN, Sinisa. Techniques for managing projects risk in capital budgeting process. *UTMS Journal of Economics*, v. 1, n. 2, p. 55-66, 2010.

KASANEN, E., LUKKA, K.; SIITONEN, A. The constructive approach in management accounting. *Journal of Management Accounting Research*. v. 5, p. 243-264, 1993.

KERDLAP, Piya; LOW, Jonathan Sze Choong; RAMAKRISHNA, Seeram. Life cycle environmental and economic assessment of industrial symbiosis networks: a review of the past decade of models and computational methods through a multi-level analysis lens. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 25, n. 9, p. 1660-1679, 2020.

KORHONEN, J. et al. Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of cleaner production*, v. 175, p. 544-552, 2018.

KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPÄLÄ, J. Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, v. 143, p. 37-46, 2018.

KUMA, G. and NATH BANERJEE, R. Supply chain collaboration index: an instrument to measure the depth of collaboration. *Benchmarking: An International Journal*, v. 21(2), p. 184-204, 2014.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Metodologia científica*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

LEE, Duu-Hwa. Evaluation the financial feasibility of biogas upgrading to biomethane, heat, CHP and AwR. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 42, n. 45, p. 27718-27731, 2017.

LI, J. et al. Life cycle assessment and life cycle cost analysis of recycled solid waste materials in highway pavement: A review. *Journal of Cleaner Production*, v. 233, p. 1182-1206, 2019.

LIEDER, Michael; RASHID, Amir. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of cleaner production*, v. 115, p. 36-51, 2016.

LIM, Seong-Rin; PARK, Jong Moon. Interfactory and intrafactory water network system to remodel a conventional industrial park to a green eco-industrial park. *Industrial & engineering chemistry research*, v. 49, n. 3, p. 1351-1358, 2010.

LOBOS, German et al. Including risk in economic feasibility analysis: a stochastic simulation model for blueberry investment decisions in Chile. *Revista brasileira de fruticultura*, v. 37, p. 870-882, 2015.

LUKKA, K. The constructive research approach. In: *Case study research in logistics* (edited by Ojala, L.; Hilmola, O-P.). Series B1. P. 83-101. Turku: Turku School of Economics and Business Administration, 2003.

MACARTHUR, E. Rumo a uma economia circular: o racional de negócio para acelerar a transição. Ellen MacArthur Foundation, 2015.

MARQUES, António; GUEDES, Graça; FERREIRA, Fernando. Leather wastes in the Portuguese footwear industry: new framework according design principles and circular economy. *Procedia Engineering*, v. 200, p. 303-308, 2017.

MARTIN, Michael. Quantifying the environmental performance of an industrial symbiosis network of biofuel producers. *Journal of Cleaner Production*, v. 102, p. 202-212, 2015.

MARX, Ute C.; ROLES, John; HANKAMER, Ben. Sargassum blooms in the Atlantic Ocean—From a burden to an asset. *Algal Research*, v. 54, p. 102188, 2021.

MAZHRAKOV, M., BENOVA, D., VALKANOV, N. The Monte Carlo method: engineering applications. ACMO Academic Press, 2018.

MAZHRAKOV, M., BENOVA, D., VALKANOV, N. The Monte Carlo method: engineering applications. ACMO Academic Press, 2018.

MINEGISHI, S., THIEL, D. System dynamics modeling and simulation of a particular food supply chain. *Simulation practice and theory*, v. 8 (5), p. 321-339, 2000.

MOORE, Jeffrey H.; WEATHERFORD, Larry R. Tomada de decisão em administração com planilhas. Bookman, 2005.

MOREAU, Vincent; WEIDEMA, Bo P. The computational structure of environmental life cycle costing. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 20, n. 10, p. 1359-1363, 2015.

MORTON, Maurice (Ed.). *Rubber technology*. Springer Science & Business Media, 2013.

MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of business ethics*, v. 140, n. 3, p. 369-380, 2017.

NAIMIMOHASSES, R. et al. Sensor optimization using neural network sensitivity measures. *Measurement Science and Technology*, v. 6, n. 9, p. 1291, 1995.

NASIR, M. H. A. et al. Comparing linear and circular supply chains: A case study from the construction industry. *International Journal of Production Economics*, v. 183, p. 443–457, 2017.

NEVES, Angela et al. A comprehensive review of industrial symbiosis. *Journal of cleaner production*, v. 247, p. 119113, 2020.

NIDUMOLU, R; PRAHALAD, C. K.; RANGASWAMI, M. R. Why sustainability is now the key driver of innovation. *Harvard business review*, v. 87(9) p. 56-64, 2009.

ÖZCEYLAN, Eren; PAKSOY, Turan. A mixed integer programming model for a closed-loop supply-chain network. *International Journal of Production Research*, v. 51, n. 3, p. 718-734, 2013.

PAES, Luis Alberto Bertolucci et al. Organic solid waste management in a circular economy perspective—A systematic review and SWOT analysis. *Journal of Cleaner Production*, v. 239, p. 118086, 2019.

PARKER, David; STACEY, Ralph. *Caos, administração e economia as implicações do pensamento não-linear*. Instituto Liberal, 1995.

PAULA, I.C.; GULARTE, A.C.; PAULA, I.R.C.; BRUNETTO, V.T.; MORAES, T.C.; JAEGER, J.P. FREITAS, F.B. Decision Matrix for development of new demand-driven Inter-organizational Circular Economy systems. *Book of Abstracts. International Conference on Resource Sustainability – icRS – Dublin-Ireland*, p. 65, 2021b.

PAULA, I.C.; HAUSER, G.; SASTRE, R. M.; GULARTE, A. C.; ZENI, C.; GIORDANI, L.; LOPEZ, N.S.R.; BRUNETTO, V.; SUM, F.F.; BASSO, E.D. Análise da rede de atores para composição de sistema de economia circular para resíduos sólidos. Porto Alegre: Hélice Consultoria. Núcleo de Inteligência para Projetos e Sistemas. UFRGS, 2020. NiProS-HR02.20.

PAULA, ISTEFANI CARÍSIO DE; HAUSER, GHISSIA; GULARTE, ALINE CAFRUNI; PAULA, ISABELLA RODRIGUES DA CUNHA E; JAEGER, JOÃO PEDRO MACIEL. "A economia circular gera oportunidades para as cadeias produtivas impactadas pela pandemia? uma perspectiva brasileira", p. 343-354. In: *Anais do 13º Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento do Produto*. São Paulo: Blucher, 2021.

PERGOLA, Maria et al. Composting: The way for a sustainable agriculture. *Applied Soil Ecology*, v. 123, p. 744-750, 2018.

PIERIE, Frank et al. Improving the sustainability of farming practices through the use of a symbiotic approach for anaerobic digestion and digestate processing. *Resources*, v. 6, n. 4, p. 50, 2017.

PLATON, Victor; CONSTANTINESCU, Andreea. Monte Carlo Method in risk analysis for investment projects. *Procedia Economics and Finance*, v. 15, p. 393-400, 2014.

POMPONI, F., FRATOCCHI, L. and TAFURI, S.R. Trust development and horizontal collaboration in logistics: a theory based evolutionary framework. *Supply Chain Management: An International Journal*, v. 20(1), p. 83-97, 2015.

PONTE, Borja et al. The effects of quantity discounts on supply chain performance: Looking through the Bullwhip lens. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 143, p. 102094, 2020.

REDDY, V. Ratna. *Life-cycle Cost Approach for Management of Environmental Resources A Primer*. Springer, 2015.

S&P 500. S&P 500 Dom Jones Indices. Disponível em: <https://www.spglobal.com/spdji/pt/indices/esg/sp-500-esg-index/#overview>. Acesso em: jun. 2021.

SANTOS, Ronise Ferreira dos. Investigação do método de desenvolvimento de calçados no pólo calçadista do Vale do Rio dos Sinos e Paranhana, no Estado do Rio Grande do Sul. 2008.

SAPUTRA, Ricky et al. Current progress in waste tire rubber devulcanization. *Chemosphere*, v. 265, p. 129033, 2021.

SAUKKO, Laura; AALTONEN, Kirsi; HAAPASALO, Harri. Inter-organizational collaboration challenges and preconditions in industrial engineering projects. *International Journal of Managing Projects in Business*, 2020.

SCHOLTEN, K. and SCHILDER, S. The role of collaboration in supply chain resilience. *Supply Chain Management: An International Journal*, v. 20(4), p. 471-484, 2015.

SCHRÖDL, H.; SIMKIN, P. Bridging economy and ecology: A circular economy approach to sustainable supply chain management. 2014.

SIMÃO, Luiz Eduardo; GONÇALVES, Mirian Buss; RODRIGUEZ, Carlos Manuel Taboada. An approach to assess logistics and ecological supply chain performance using postponement strategies. *Ecological indicators*, v. 63, p. 398-408, 2016.

SOARES, Eliseu Afonso; DE ARAÚJO, Geraldino Carneiro. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO PROCESSO PRODUTIVO: um estudo de caso em uma indústria calçadista. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 14, n. 2, p. 171-181, 2016.

STACEY, Ralph D. Complexity and creativity in organizations. Berrett-Koehler Publishers, 1996.

STAIKOS, T. et al., 2006. End-of-life management of shoes and the role of biodegradable materials. In: *Proceedings of 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, p. 497-502.

STAIKOS, T., RAHIMIFARD, S., 2007. A decision-making model for waste management in the footwear industry. *International journal of production research*, v. 45, n. 18-19, p. 4403-4422.

STEIGER, D. M., SHARDA, R., 1996. Analyzing mathematical models with inductive learning networks. *European Journal of Operational Research*, v. 93, n. 2, p. 387-401.

SWARR, Thomas E. et al. Environmental life-cycle costing: a code of practice. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 16, n. 5, p. 389-391, 2011.

Switzerland Federal Office for the Environment. *International survey on eco-innovation parks: Learning from experiences on the spatial dimension of eco-innovation*. 2014.

SYMBIOSIS DK. 2022. Disponível em: <www.symbiosis.dk>. Acesso em: jun. 2022.

TSAIH, Ray. Sensitivity analysis, neural networks, and the finance. In: *IJCNN'99. International Joint Conference on Neural Networks. Proceedings (Cat. No. 99CH36339)*. IEEE, 1999. p. 3830-3835.

UTRILLA, Pedro Nunes-Cacho; GÓRECKI, Jarosław; MAQUEIRA, Juan Manuel. Simulation-Based Management of Construction Companies under the Circular Economy Concept—Case Study. *Buildings*, v. 10, n. 5, p. 94, 2020.

VELENTURF, A. P. M.; PURNELL, P. Principles for a sustainable circular economy. Sustainable Production and Consumption, 2021.

VELEVA, Vesela; BODKIN, Gavin. Corporate-entrepreneur collaborations to advance a circular economy. Journal of Cleaner Production, v. 188, p. 20-37, 2018.

VENABLE, John; PRIES-HEJE, Jan; BASKERVILLE, Richard. FEDS: a framework for evaluation in design science research. European journal of information systems, v. 25, n. 1, p. 77-89, 2016.

VITORIO, Tamires. Até onde pode ir o preço do combustível no Brasil e no mundo. CNN, 19 de julho de 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/ate-onde-pode-ir-o-preco-do-combustivel-no-brasil-e-no-mundo/>>. Acesso em: 29 de junho de 2022.

WBCSD. Circular Metrics – Landscape Analysis. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), 2018. Disponível em: <https://www.wbcd.org/Programs/Circular-Economy/Factor-10/Metrics-Measurement/Resources/Landscape-analysis>. Acesso em: 27/05/2021

WEGNER, D.; DURAYSKI, J.; DE SOUZA VERSCHOORE FILHO, J. R. Governança e eficácia de redes interorganizacionais: Comparação entre iniciativas brasileiras de redes de cooperação. Desenvolvimento em Questão, v. 15, n. 41, p. 275-302, 2017. <https://doi.org/10.21527/2237-6453.2017.41.275-302>

XU, Jiuping; LI, Xiaofei; WU, Desheng Dash. Optimizing circular economy planning and risk analysis using system dynamics. Human and Ecological Risk Assessment, v. 15, n. 2, p. 316-331, 2009.

ZWIKAEL, Ofer; AHN, Mark. The effectiveness of risk management: an analysis of project risk planning across industries and countries. Risk Analysis: An International Journal, v. 31, n. 1, p. 25-37, 2011.

APÊNDICE

APÊNDICE A. Levantamento de publicações na base Web of Science empregando os termos “circular economy” and “systematic literature review”

Journals	Total de artigos	% de artigos
<i>Environmental Sciences</i>	143	53,36%
<i>Green Sustainable Science Technology</i>	135	50,37%
<i>Environmental Studies</i>	87	32,46%
<i>Engineering Environmental Management</i>	72	26,87%
<i>Business</i>	34	12,69%
<i>Engineering Industrial</i>	22	8,21%
<i>Engineering Manufacturing</i>	20	7,46%
<i>Engineering Manufacturing</i>	15	5,60%
<i>Operations Research Management Science</i>	14	5,22%
<i>Energy Fuels</i>	9	3,36%
<i>Computer Science Interdisciplinary Applications</i>	8	2,99%
<i>Engineering Civil</i>	8	2,99%
<i>Materials Science Multidisciplinary</i>	7	2,61%
<i>Computer Science Information Systems</i>	6	2,24%
<i>Information Science Library Science</i>	6	2,24%
<i>Engineering Multidisciplinary</i>	5	1,87%
<i>Physics Applied</i>	5	1,87%
<i>Construction Building Technology</i>	4	1,49%
<i>Economics</i>	4	1,49%
<i>Engineering Electrical Electronic</i>	4	1,49%
<i>Regional Urban Planning</i>	4	1,49%
<i>Automation Control Systems</i>	3	1,12%
<i>Business Finance</i>	3	1,12%
<i>Chemistry Multidisciplinary</i>	3	1,12%
<i>Engineering Chemical</i>	3	1,12%

APÊNDICE B. Roteiro das entrevistas com os membros do sistema

Acesso em: <https://linktr.ee/dissertacaoaline>

APÊNDICE C. Planilha de cálculos genérica AVEF

Acesso em: <https://linktr.ee/dissertacaoaline>

APÊNDICE D. Quadro premissas AVEF

Acesso em: <https://linktr.ee/dissertacaoaline>

APÊNDICE E. Descrição dos Indicadores AVEF

Acesso em: <https://linktr.ee/dissertacaoaline>