

Um indicador quantitativo para avaliar o grau de maturidade da simbiose industrial

A quantitative indicator for assessing the degree of maturity of industrial symbiosis

Un indicador cuantitativo para evaluar el grado de madurez de la simbiosis industrial

Recebido: 18/04/2022 | Revisado: 26/04/2022 | Aceito: 30/04/2022 | Publicado: 02/05/2022

Míriam Machado Fabris

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7184-285X>
Universidade Federal Fluminense, Brasil
E-mail: miriamfabris@id.uff.br

Francisco Santos Sabbadini

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5303-9409>
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
Universidade Federal Fluminense, Brasil
E-mail: franciscosabbadini@gmail.com

Kelly Alonso Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7018-5982>
Universidade Federal Fluminense, Brasil
E-mail: kellyalonso@id.uff.br

Resumo

O modelo de produção linear baseado em extrair, produzir, usar e descartar está chegando ao seu limite devido aos impactos ambientais e escassez de recursos. A economia circular surge em oposição a este modelo de produção, com princípios baseados na eliminação de resíduos e poluição, mantendo os materiais em uso e recuperando os sistemas naturais. A simbiose industrial é indicada para colocar em prática os princípios da economia circular, por meio da criação de sinergias e cooperação mútua entre as indústrias, onde as mesmas podem compartilhar recursos e reaproveitar os resíduos da produção. Com o objetivo de compreender como a simbiose industrial pode contribuir para a implementação da economia circular, este trabalho avaliou o grau de maturidade da simbiose industrial em uma empresa produtora de vidro plano, por meio do indicador grau de maturidade da simbiose industrial, que contrapõe as sete barreiras da simbiose industrial com os cinco estágios de maturidade. Para quantificar o grau de maturidade da simbiose industrial, foi criada uma Equação, produção original deste trabalho, que identificou que a empresa possui atualmente 28,5% do grau de maturidade, possibilitando identificar o que pode ser melhorado e facilitando o processo de tomada de decisão.

Palavras-chave: Economia circular; Simbiose industrial; Indicador; Grau de Maturidade da Simbiose Industrial.

Abstract

The linear production model based on extract, produce, use and dispose is reaching its limit due to environmental impacts and scarcity of resources. The circular economy appears in opposition to this production model, with principles based on eliminating waste and pollution, keeping materials in use and recovering natural systems. Industrial symbiosis is indicated to put into practice the principles of the circular economy, through the creation of synergies and mutual cooperation between industries, where they can share resources and reuse production residues. In order to understand how industrial symbiosis can contribute to the implementation of the circular economy, this work assessed the degree of maturity of industrial symbiosis in a flat glass production company, through the indicator degree of maturity of industrial symbiosis, which lists the seven barriers of industrial symbiosis against the five stages of maturity. To quantify the degree of maturity of the industrial symbiosis, an Equation was created, an original production of this work, which made it possible to identify that the company currently has 28,5% of the degree of maturity, making it possible to identify what can be improved, facilitating the decision-making process.

Keywords: Circular economy; Industrial symbiosis; Indicator; Degree of Maturity of Industrial Symbiosis.

Resumen

El modelo de producción lineal basado en extraer, producir, usar y descartar está llegando a sus límites debido a los impactos ambientales y de recursos. La economía circular surge en oposición a un modelo de conservación de sistemas y mantenimiento de materiales en uso de los sistemas naturales. La simbología industrial está indicada para poner en práctica los principios de la economía circular, a través de la cooperación y cooperación entre recursos como utilidades y recursos, donde además pueden compartir recursos y aprovechar los desechos de producción. Para entender cómo la simbiosis industrial puede contribuir a la implementación de la economía circular, este valor de madurez de la simbiosis industrial en una empresa se puede hacer de vidrio plano, a través del indicador grado de

madurez de la simbiosis industrial, que contrapone las siete barreras de la simbiosis industrial. contra cinco años de vencimiento. Para cuantificar el grado de madurez de la simbiosis industrial, se elaboró una Ecuación de Producción, que permitió que la empresa tenga actualmente 28,5% del grado de madurez, la original para identificar lo que se puede mejorar, además, para identificar los proceso de toma de decisión.

Palabras clave: Economía circular; Simbiosis industrial; Indicador; Grado de Madurez de la Simbiosis Industrial.

1. Introdução

Devido aos impactos no meio ambiente e o risco de esgotamento das fontes de recursos decorrentes do modelo de produção atual, linear, cuja dinâmica é extrair, transformar e descartar, as externalidades negativas geradas têm levado o mundo a um estado cada vez mais crítico do ponto de vista ambiental, econômico e social. Esse cenário é um tema recorrente que tem sido foco das preocupações da comunidade internacional (Ellen Macarthur Foundation, 2012).

A economia circular é um conceito que vem sendo inserido na agenda política de governos e empresas de forma recorrente no sentido de ser um caminho para a transição do modelo atual de produção para um modelo que promova o desenvolvimento sustentável em que resíduos e recursos são valorizados por meio da reciclagem e do reuso (Gregson et al., 2015).

A comissão europeia desenvolveu um documento destacando a necessidade de melhorar os processos de reciclagem de plásticos na Europa, além de diminuir as áreas de aterro e promover uma produção mais sustentável, caminhando para uma transição estratégica para criação de uma economia circular, contribuindo para a realização dos objetivos de desenvolvimento sustentável das nações unidas, contidos na agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável (Delgado-Aguilar et al., 2020).

A agenda 2030 é um plano de ação que indica os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável para erradicar a pobreza no planeta e unir o desenvolvimento econômico, social e ambiental à escala global. Os objetivos devem ser adotados pelos países de acordo com suas particularidades e prioridades, por meio de uma parceria global que orienta as escolhas necessárias para melhorar a vida das pessoas, no presente e future (Colglazier, 2015) e dentre os desafios está o desenvolvimento da produção e consumo sustentáveis (Shulla et al., 2019).

Outra finalidade da economia circular é propor um uso mais sustentável dos materiais, por meio de ciclos, nos quais os resíduos são reaproveitados como matéria-prima (Delgado-Aguilar et al., 2020). Este padrão de circuito se fundamenta no conceito de simbiose industrial, um subcampo da ecologia industrial que trata da cooperação entre as empresas industriais na gestão de recursos, de modo que os resíduos de uma empresa tornam-se os insumos para outra (Mulrow et al., 2017).

A simbiose industrial se alinha aos princípios da economia circular contribuindo para a regeneração dos recursos renováveis e a minimização da extração de recursos finitos (princípio 1), aproveitamento do valor dos recursos e otimização de processos (princípio 3) e redução das externalidades negativas (princípio 3). Nesse sentido, é reconhecida como uma abordagem efetiva para apoiar a transição de uma economia linear para um modelo circular por meio da entrada de materiais em circuitos fechados (Abreu & Ceglia, 2018).

No que diz respeito a sua implementação, a simbiose industrial está associada diretamente ao desenvolvimento em nível regional, onde as sinergias em termos de soluções técnicas para resíduos e subprodutos, água e reutilização de energia entre indústrias vizinhas estão configuradas na forma de arranjos em eco parques industriais, a exemplo de Kalundborg, na Dinamarca (Gulipac, 2016), Gladstone, em Queensland, Austrália (Golev et al., 2015), Suzhou, China (Wen & Meng, 2015).

Notou-se que o potencial de captação das sinergias nas regiões é frequentemente limitado por uma série de barreiras como regulamentação ambiental, falta de cooperação e confiança entre as indústrias da área, barreiras econômicas e falta de compartilhamento de informações (Golev et al., 2015).

Uma nova ferramenta foi apresentada: a grade de maturidade da simbiose industrial, que ajuda a monitorar e avaliar o nível de colaboração industrial regional, além de indicar um caminho para melhorias e desenvolvimento de uma região

industrial (Golev et al., 2015). A aplicação da ferramenta desenvolvida para a região industrial de Gladstone em Queensland, Austrália, é apresentada no artigo que mostrou que Gladstone está no terceiro estágio (ativo) diante de cinco estágios de maturidade, sendo a cooperação e a confiança entre as indústrias a característica mais forte e a informação a barreira que precisa ser aprimorada.

Visando identificar possíveis soluções de melhorias tanto no âmbito econômico quanto ambiental, o presente trabalho se propôs a realizar uma análise do grau de maturidade da simbiose industrial em uma indústria de produção de vidros planos, através do indicador grau de maturidade da simbiose industrial.

De forma a aprimorar a avaliação do grau de maturidade, este estudo sugere uma avaliação quantitativa do grau de maturidade da simbiose industrial, que até então era avaliado somente de forma qualitativa, por meio de uma equação, facilitando a identificação do estágio de maturidade da empresa, além de ser um novo instrumento para auxiliar no processo de tomada de decisão.

2. Revisão de literatura

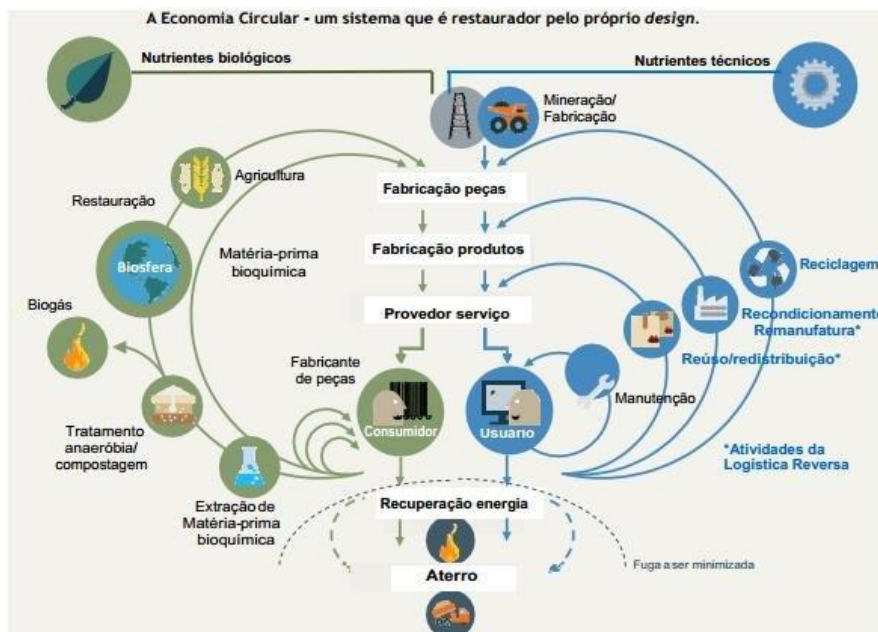
2.1 Economia Circular

O conceito de economia circular não está ligado a nenhum autor específico e foi desenvolvido a partir de uma perspectiva multidisciplinar, com diferentes abordagens envolvendo áreas como engenharia, economia, ecologia, design e negócios (Prieto-sandoval et al., 2018), que considera o conceito da criação de valor por meio do uso racional dos recursos e minimização dos impactos ambientais em todas as fases do ciclo de vida dos produtos (Seroka-stolka & Ociepa-kubicka, 2019).

A economia circular é um conceito que sugere uma nova abordagem de produção, propondo uma mudança de paradigma que vem ocorrendo na indústria em geral, com iniciativas para minimizar os impactos do modelo linear de produção (Berardi & Dias, 2018) propondo uma substituição por um modelo circular, que visa manter os materiais em ciclo fechado para reter seu valor máximo (Benachio et al., 2020).

Em 2010 foi estabelecida a fundação Ellen MacArthur com o objetivo principal de acelerar a transição para uma economia circular, trabalhando com o apoio de empresas e governo a fim de criar uma economia regenerativa e restaurativa desde o início. A economia circular tem como princípios: suprimir desperdício e contaminação desde o início, dar continuidade ao uso de produtos e materiais e recuperação de sistemas naturais (Figura 1) (Ellen Macarthur Foundation, 2012).

Figura 1: Diagrama sistêmico – Economia Circular.



Fonte: Ellen Macarthur Foundation (2012).

A Figura 1 mostra o diagrama de borboleta que destaca os ciclos biológico e técnico (Velenturf et al., 2019), aos quais são incorporados os conceitos de nutrientes biológicos e técnicos, respectivamente. Os nutrientes são elementos necessários para o crescimento de algum organismo e são essenciais para manutenção de estruturas e de processos vitais (Burlingame, 2001).

2.2 Simbiose Industrial

A simbiose industrial baseia-se em uma abordagem de integração de sistemas industriais (Geng et al., 2014) com relações de cooperação entre indústrias economicamente independentes, geralmente com proximidade geográfica (Chertow, 2000) e envolve a adoção de uma abordagem coletiva entre empresas, onde o excedente de materiais, energia, água ou subprodutos são trocados e incorporados aos processos.

A simbiose industrial refere-se a uma analogia com a simbiose que ocorre na natureza, imitando o ecossistema natural, com máxima utilização dos recursos disponíveis (Herzer et al., 2017) e propõe uma cooperação entre as empresas industriais na gestão de recursos, de modo que os resíduos de uma empresa tornam-se a entrada de outra (Mulrow et al., 2017) e segue um pensamento sistemático para as empresas integrarem elementos-chave em abordagens de sustentabilidade (Leigh & Li, 2015).

Identificou-se que existem muitas barreiras relacionadas à simbiose industrial, as quais dependem de circunstâncias únicas de cada empresa, porém numa análise geral percebeu que existe uma série de fatores e circunstâncias que se combinam e contribuem para desencorajar a simbiose industrial. Os principais fatores relacionados às barreiras à simbiose industrial são: econômico, legislação e regulamentação, técnico, organizacional e informação (Harris, 2004).

Notou-se que a política é um fator determinante para criar uma consciência acerca da simbiose industrial e a mesma pode ser criada com mudanças na legislação e incentivo financeiro através dos governos. Além disso, destacaram a importância do engajamento da comunidade, incluindo entidades corporativas, instituições de ensino direcionadas às pesquisas e outras entidades públicas, para facilitar o processo participativo para implementar a prática (Mortensen & Kørnø, 2019).

Por meio de uma revisão sistemática de literatura identificou-se que as barreiras à simbiose industrial mais pertinentes e relevantes podem ser resumidas em um grupo de sete (Golev et al., 2015) e podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Barreiras à Simbiose Industrial.

Tipo de Barreira	Descrição
Compromisso com Desenvolvimento Sustentável	Motivar para a criação de uma estratégia organizacional, com desenvolvimento de projetos que contribuam para o desenvolvimento sustentável regional.
Informação	Ausência de dados sobre fluxos de resíduos, materiais, água e energia de indústrias para o desenvolvimento de sinergias de recursos regionais.
Cooperação	A cooperação e a confiança entre os participantes são fatores crucialmente importantes para novos projetos de sinergia.
Técnica	A falta de conhecimento técnico pode ser uma barreira para um novo projeto, que pode ser compensado envolvendo consultoria empresarial ou organização de pesquisa.
Regulatória	As dificuldades na obtenção de aprovações de projetos de reutilização de resíduos são um obstáculo para sinergias, bem como requisitos legais e impostos mais altos para eliminar resíduos são motivam para projetos de simbiose industrial.
Comunidade	Conscientizar a comunidade sobre os impactos ambientais e econômicos pode ser um motivador para iniciar o desenvolvimento de projetos. Sistemas de comunicação bem estabelecidos entre as indústrias e comunidades junto com programas de educação ambiental, ajudam a garantir o surgimento de novas sinergias.
Econômica	O investimento em novos projetos pode ser um fator que desmotive várias empresas, por isso espera-se que conexões sinérgicas tragam um resultado econômico positivo com benefícios ambientais, resultando em aumento de receita, menores custos de insumos e operacionais

Fonte: Golev et al. (2015).

Uma das formas recomendadas para identificar e superar barreiras dentro do ambiente industrial é por meio dos indicadores, pois estes são capazes de detectar tendências e variações, além de servirem como base na avaliação do impacto das ações e auxiliar o processo de tomada de decisão (Felicio et al., 2016).

2.3 Indicadores

A medição do desempenho da circularidade está se tornando cada vez mais crítica, porque a circularidade das cidades, regiões e empresas precisa ser transparente para as partes interessadas, em particular para os formuladores de políticas tomarem decisões adequadas sobre as estruturas da economia circular.

Os indicadores devem seguir um determinado padrão, pois em certos casos são muito simplificados, incluindo algumas características importantes e em outras situações são difíceis de quantificar ou compreender. Os indicadores devem ser simples, informativos e genéricos para todas as indústrias e setores e normalizados por um certo valor, dependendo do objetivo da avaliação (Valenzuela-Venegas et al., 2016).

Um indicador de desempenho é uma ferramenta necessária para o sucesso de um projeto (Mantese & Amaral, 2016), tendo em vista que medir o desempenho é um processo que quantifica a eficácia de uma ação e o indicador de performance é

capaz de desempenhar esse papel (Neely et al., 1995). Na simbiose industrial, os indicadores podem ser usados para monitorar, avaliar e auxiliar no processo de tomada de decisão (Fraccascia & Giannoccaro, 2020).

A grade de maturidade da simbiose industrial foi criada a fim de auxiliar no monitoramento e avaliação do nível de colaboração industrial, além de indicar um caminho para melhorias e desenvolvimento em uma região industrial. A grade de maturidade proposta inclui sete barreiras à simbiose industrial que são testadas contra cinco estágios de maturidade, a fim de identificar o grau de maturidade das empresas (Golev et al., 2015).

O indicador qualitativo grau de maturidade da simbiose industrial analisa cada uma das sete barreiras da simbiose industrial, destacadas na Tabela 1, contra os cinco estágios de maturidade (Mota & Abreu, 2015), de forma a identificar qual o grau de maturidade da simbiose industrial da empresa, tendo em vista que o sucesso de um projeto de simbiose industrial é limitado pelo conjunto de tais barreiras (Golev et al., 2015).

A ideia principal da grade de maturidade é descrever em algumas frases, o comportamento típico de uma empresa em diferentes níveis de maturidade, fornecendo a oportunidade de codificar o que pode ser considerado uma boa e uma má prática (Fraser et al., 2002).

Os modelos de maturidade definem um conjunto de etapas que descrevem o desenvolvimento do objeto examinado em uma forma simplificada e devem definir critérios para medição como condições, processos ou alvos de aplicação (Wendler, 2012).

Tendo em vista que o indicador grau de maturidade da simbiose industrial é um indicador qualitativo, neste estudo foi elaborada uma equação, baseada no indicador qualitativo a fim de quantificar o mesmo, permitindo mensurar o grau de maturidade da simbiose industrial da empresa.

3. Metodologia

Para determinar o grau de maturidade da simbiose industrial foi elaborado um questionário, com perguntas relacionadas a cada uma das barreiras da simbiose industrial, o qual foi encaminhado ao responsável do setor de meio ambiente da empresa e discutido entre integrantes da equipe para chegar a um consenso das respostas.

Após a aplicação do questionário, as respostas foram coletadas e analisadas detalhadamente e, posteriormente, foi elaborada a matriz de maturidade, baseada na matriz de Golev et al., 2015, com algumas adaptações, identificando o grau de maturidade da simbiose industrial em que a empresa se encontra, de acordo com a definição de cada estágio.

A grade de maturidade deste trabalho foi desenvolvida a partir da revisão de literatura feita para o desenvolvimento da pesquisa. A matriz foi elaborada relacionando cada uma das sete barreiras contra os cinco estágios de maturidade, baseando-se nas respostas obtidas no questionário enviado à empresa. Cada barreira foi analisada separadamente e alocada no estágio correspondente.

De forma a quantificar o grau de maturidade da simbiose industrial foi elaborada a equação do grau de maturidade da simbiose industrial, que é um novo instrumento direcionado para medir o grau de maturidade da simbiose industrial, tendo como base lógico-matemática a multiplicação entre a pontuação dos estágios da matriz e as barreiras à simbiose industrial.

O valor da pontuação de cada barreira foi multiplicado pelo total de barreiras presentes em cada estágio. O somatório das multiplicações representa o valor do grau de maturidade referente à empresa. A Equação 1 representa o cálculo do grau de maturidade (GMSI).

$$GMSI = \sum_{i=1}^5 ai \times ni, 0 \leq ai \leq 5; 0 \leq ni \leq 7 \text{ Equação 1}$$

Onde:

GMSI: Grau de Maturidade da Simbiose Industrial

ai: pontuação do estágio

ni: número de barreira no estágio

Os valores de ai estão compreendidos num intervalo de 0 a 5, que correspondem à variação da pontuação dos estágios dentro da grade de maturidade.

a) Análise dos Estágios

Serão tomados como base o estágio 5, onde ai corresponde a 5, que representa o valor máximo, e o estágio 1, onde ai corresponde a 0, indicando que não existem práticas para suprir a barreira analisada. A explicação de cada estágio pode ser observada a seguir.

Estágio 1: na equação será representado por $ai = 0$ e representa a situação em que a simbiose industrial é nula, correspondendo a 0% da simbiose total.

Estágio 2: na equação será representado por $ai = 1,25$ (1/4 da simbiose total) e representa a situação em que são identificados esforços iniciais.

Estágio 3: na equação será representado por $ai = 2,5$ (1/2 da simbiose total) e representa a situação em que existem maiores esforços e projetos consolidados acerca da simbiose industrial.

Estágio 4: na equação será representado por $ai = 3,75$ (3/4 da simbiose e representa a situação em que a simbiose industrial se encontra em um grau evoluído, com ações padronizadas.

Estágio 5: na equação será representado por $ai = 5$ e representa a simbiose perfeita.

A Tabela 2 identifica o intervalo percentual correspondente a cada estágio da matriz de maturidade.

Tabela 2. Porcentagem em termos da simbiose industrial.

Número do estágio	Porcentagem em termos da simbiose industrial
1	$ai = 0\%$
2	$0\% < ai < 50\%$
3	$50\% \leq ai < 75\%$
4	$75\% \leq ai < 100\%$
5	$ai = 100\%$

Fonte: Autores.

Por meio da Tabela 2 é possível identificar os intervalos de valores em termos percentuais que compreendem cada estágio, em que 0% representa a ausência e 100%, o ápice da simbiose industrial.

Os valores de ni correspondem ao total de barreiras inseridas em um mesmo estágio, podendo variar de 0 a 7, onde este último representa o número total de barreiras à simbiose industrial, conforme identificado na Tabela 1.

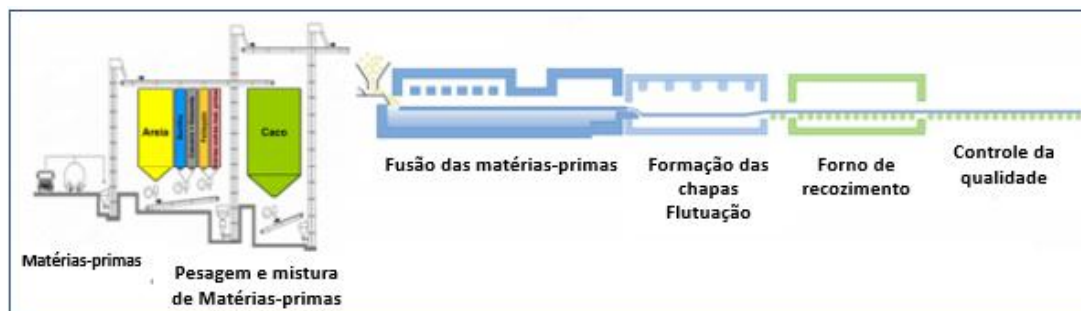
Além de ser um novo indicador relacionado à simbiose industrial, a equação do grau de maturidade da simbiose industrial será um instrumento para auxiliar o processo de tomada de decisões.

b) Uma visão geral da produção de vidro plano

Esta seção apresenta um estudo de caso de uma indústria de produção de vidros planos, atuante na região Sudeste do Brasil, apresentando uma visão geral dos processos de fabricação, os resíduos resultantes da produção e o que é feito com eles.

O processo de fabricação do vidro (Figura 2) envolve basicamente duas etapas, que são mistura em lote e fusão em lote. Na mistura em lote, as matérias-primas como sílica, barrilha, calcário, dolomita e feldspatos e os aditivos como sulfato de sódio, ferro, cobalto, cromo, selênio, magnésio e cálcio são triturados e misturados em um misturador rotativo para garantir uma mistura homogênea dos ingredientes. Na segunda etapa, a mistura homogênea é continuamente alimentada para uma fornalha e aquecida a uma temperatura que varia de 1500 °C a 1550 °C (Freire, 2016).

Figura 2: Processo de fabricação de vidro.



Fonte: Adaptado de Akerman (2014).

O processo de produção do vidro subdivide-se basicamente em 4 etapas (Akerman, 2014). São elas:

- **Dosagem e mistura das matérias primas de acordo com o tipo de vidro a ser produzido.** O processo é realizado em misturadores à temperatura ambiente e deve garantir que os componentes formem uma mistura homogênea até irem para o forno. Nesta etapa são definidos os componentes e os respectivos percentuais a serem utilizados, de acordo com o tipo de vidro a ser produzido.
- **Fusão das matérias-primas.** Nesta etapa a mistura é levada ao forno, onde ocorre a fusão e transformação em vidro, a uma temperatura de aproximadamente 1600°C. Em seguida a massa de vidro é tratada até atingir a temperatura de viscosidade para transformar em chapas.
- **Formação das chapas.** Nesta etapa ocorre a flutuação (*float*), onde a massa de vidro é despejada sobre a um tanque com estanho derretido a 650°C e flutua devido à diferença de densidade entre os materiais, atingindo o formato desejado.
- **Recozimento para alívio de tensões residuais.** O recozimento ocorre dentro de um forno contínuo e linear, onde o resfriamento da peça ocorre de forma controlada, com o objetivo de minimizar as possíveis tensões decorrentes da mudança da fase líquida para sólida.

3. Resultados e Discussão

Para uma melhor análise do nível da simbiose industrial da empresa foram considerados três cenários:

- Cenário 1: todas as barreiras da simbiose industrial encontram-se no estágio 5 – melhor cenário
- Cenário 2: todas as barreiras da simbiose industrial encontram-se no estágio 1 – pior cenário
- Cenário 3: cenário real da empresa

Para identificar o grau da simbiose industrial da empresa foram analisadas todas as respostas do questionário referentes a cada uma das barreiras mencionadas e identificou-se em que estágio cada uma das barreiras se encontra. Cada uma das barreiras foi avaliada isoladamente de acordo com as respostas fornecidas pela empresa.

Para calcular o indicador grau de maturidade da simbiose industrial foram atribuídas notas de 0 a 5 aos estágios, conforme demonstrado na seção 3, onde a pontuação 0 representa o estágio 1, identificado como a pior situação e a pontuação 5 representa o estágio 5, que é a melhor situação. A Tabela 3 mostra cada barreira, o estágio em que está inserida, a justificativa e a pontuação atribuída.

Tabela 3. Avaliação das Barreiras à Simbiose Industrial.

Barreiras	Estágio	Justificativa	Pontuação
Compromisso com Desenvolvimento Sustentável	3	O Desenvolvimento sustentável existe na empresa e indicadores são utilizados para medir ações, porém sem padronização	2,5
Informação	2	Existem relatórios disponíveis, mas com falta de informações sobre resíduos	1,25
Cooperação	2	A cooperação entre indústrias ocorre quando estão enfrentando juntas algum problema	1,25
Técnica	2	Surgem oportunidades para reutilizar resíduos, mas somente projetos bem elaborados podem ser implementados	1,25
Regulatória	2	A reciclagem é destacada como importante, mas não existe regulamentação específica	1,25
Comunidade	1	A comunidade não é reconhecida como parte igual na negociação do processo industrial	0
Econômica	3	Entende-se que os recursos podem ser valiosos e existem informações sobre custos e desperdício, mas não existe investimento em novos projetos	2,5

Fonte: Autores.

A análise da Tabela 3 mostra que nenhuma das barreiras encontra-se nos estágios 4 e 5; quatro das sete barreiras estão no estágio 2; duas estão no estágio 3 e 1 está no estágio 1. Além disso, identificou-se que a barreira que se encontra no pior estágio é a comunidade, ou seja, não existem esforços suficientes que indiquem uma relação entre a empresa e a comunidade que seja favorável à simbiose.

Para quantificar o grau de maturidade multiplicou-se o valor da pontuação de cada barreira pelo total de barreiras em cada estágio e o somatório das multiplicações das barreiras representa o valor do grau de maturidade, calculado através da Equação 1.

De forma a ter valores de referência que identifiquem a melhor e pior situação calculou-se o grau de maturidade para o melhor e pior cenários e, posteriormente, calculou-se o grau de maturidade do cenário real da empresa. A partir dos resultados consolidados na Tabela 3 foi possível calcular o grau de maturidade para os três cenários descritos.

Cenário 1 – melhor cenário: todas as barreiras da simbiose industrial encontram-se no estágio 5

O cenário 1 representa o melhor cenário, ou seja, a situação perfeita, onde todas as barreiras encontram-se no estágio 5. Visto que existe um total de sete barreiras, e se todas estão nos estágio 5, a pontuação de cada uma delas vale 5. A Equação 2 representa o melhor cenário.

$$GMSI = 7 * 5 = 35 \quad (2)$$

Identificou-se que para o melhor cenário o valor do grau de maturidade da simbiose industrial deve ser igual a 35 e este valor deve ser utilizado como a melhor referência.

Cenário 2 – pior cenário: nenhum aproveitamento dos recursos e todas as barreiras da simbiose industrial encontram-se no estágio 1.

O cenário 2 representa o pior cenário, ou seja, a pior situação, onde todas as barreiras encontram-se no estágio 1. Visto que existe um total de sete barreiras, e se todas estão nos estágio 1, a pontuação de cada uma delas vale 0. A Equação 3 representa o pior cenário.

$$GMSI = 7 * 0 = 0 \quad (3)$$

Identificou-se que para o pior cenário o valor do grau de maturidade da simbiose industrial é igual a 0 e este valor deve ser utilizado como a pior referência.

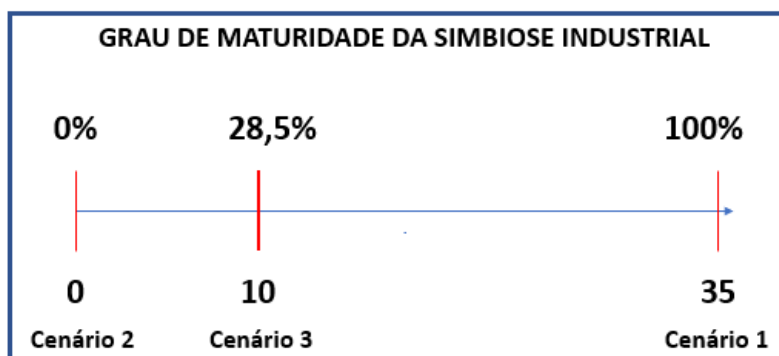
Cenário 3 – situação real da empresa

O cenário 3 representa a real situação da empresa no momento analisado. A Equação 4 representa o melhor cenário.

$$GMSI = 1 * 0 + 4 * 1,25 + 2 * 2,5 + 0 * 4 + 0 * 5 = 10 \quad (4)$$

O grau de maturidade da empresa tem o valor de 10, que representa 28,5% do valor da melhor referência. Os três cenários foram representados em uma reta, de forma a visualizar a situação da empresa comparada aos outros dois cenários (Figura 3).

Figura 3: Posicionamento dos cenários em uma escala percentual.



Fonte: Autores.

De acordo com a Figura 3, a empresa (cenário 3) está no estágio 2 com 28,5% da simbiose perfeita, porém com ações que caminham para o estágio 3.

De acordo com os resultados identificou-se a necessidade de melhorias, como estimular ações que aproximem a comunidade e a empresa, padronização de atividades, como por exemplo a publicação regular de relatórios informativos sobre a empresa e os resíduos e o que é feito com eles, além da padronização de indicadores direcionados aos resíduos.

As melhorias podem ser implementadas visando aumentar o grau de maturidade da simbiose industrial da empresa e atingir a simbiose perfeita. Com o objetivo de alcançar essas melhorias foram definidas algumas ações que podem ser adotadas pela empresa, conforme observa-se na Tabela 4.

Tabela 4. Sugestões para as barreiras.

Barreiras	Ações estratégicas direcionadas ao grau de maturidade da simbiose
Compromisso com Desenvolvimento Sustentável	Realizar uma padronização dos tipos de indicadores a serem utilizados e determinar uma regularidade no uso dos mesmos, criar projetos e ações para minimizar os impactos ambientais presentes e futuros
Informação	Tornar uma prática padrão da empresa a criação e compartilhamento de relatórios periódicos sobre as ações para minimizar impactos ambientais e os benefícios decorrentes de tais atitudes, como por exemplo, a criação de relatórios sobre resíduos gerados e o que foi feito com cada um deles
Cooperação	Buscar maiores informações sobre as empresas próximas que poderiam se tornar parceiras da empresa, criando novas sinergias e esforços conjuntos, com o objetivo de promover melhorias para a coletividade, como redução de custos e impactos ambientais, por meio de compartilhamento de materiais e/ou aproveitamento de resíduos.
Técnica	Analisar com mais detalhes as oportunidades e ações para aproveitamento de resíduos e aumentar o engajamento da empresa para a criação de novos projetos voltados para promover essa atitude
Regulatória	Implementar a ISO 14000, com o objetivo de garantir o equilíbrio e proteção ambiental, através de regras e diretrizes para atingir o objetivo, além de ter a reutilização de resíduos como um dos focos principais
Comunidade	Fornecer maiores informações à comunidade através de bons canais de comunicação, como por exemplo, as redes sociais, além de promover uma parceria entre empresa e comunidade, onde esta última é ativa no processo de tomada de decisão para o presente e futuro desenvolvimento industrial, podendo opinar sobre as ações da empresa
Econômica	Projetos de reutilização de resíduos tem eficiência comprovada e investigam-se novas oportunidades de negócios, enxergando a colaboração entre indústrias como vantagem competitiva

Fonte: Autores.

A Tabela 5 apresenta algumas ações que podem ser tomadas pela empresa em prol de melhorias no que dizem respeito a cada uma das barreiras mencionadas. Sugere-se ainda, que ações possam ser tomadas em conjunto, tentando englobar todas as barreiras, ou boa parte delas, pois para que aumente o grau de simbiose industrial é necessário que mais barreiras sejam minimizadas e se enquadrem em estágios mais avançados.

4. Conclusão

A análise do indicador grau de maturidade da simbiose industrial possibilitou identificar que quatro das barreiras da simbiose industrial estão no estágio 2, duas estão no estágio 3, uma está no estágio 1 e não existem barreiras nos estágios 4 e 5.

A fim de quantificar o grau de maturidade da simbiose industrial foi elaborada uma Equação (GMSI), criação original deste trabalho, e o cálculo do indicador para o cenário real da empresa resultou num valor igual a 10, que equivale a 28,5% da

simbiose perfeita, que equivale a 35. O resultado da equação permitiu verificar que, de maneira geral, a empresa está inserida no estágio 2, com esforços iniciais relacionado à simbiose industrial e menos de 50% da simbiose perfeita.

A equação do grau de maturidade da simbiose industrial é um instrumento de auxílio ao processo de tomada de decisão, podendo expandir sua aplicação para outras empresas ou parques industriais, além de ser um indicador quantitativo que se mostrou eficaz para identificar o quanto de simbiose já existe em determinada empresa e o quanto falta, servindo como direcionamento para a implementação de melhorias.

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação da equação e da matriz de maturidade da simbiose industrial em outros cenários de estudo e a união das mesmas com outros indicadores direcionados à economia circular e simbiose industrial e sugere-se que a aplicação do indicador seja realizada em um conjunto de empresas com proximidade geográfica ou em um parque industrial, a fim de analisar como é a relação das mesmas em função da simbiose industrial.

Referências

- Abreu, M. C. S. de, & Ceglia, D. (2018). On the implementation of a circular economy: The role of institutional capacity-building through industrial symbiosis. *Resources, Conservation and Recycling*, 138(June), 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.001>
- Akerman, M. (2014). *Indústria do Vidro Mauro Akerman.*, Abividro, Escola do Vidro.
- Benachio, G. L. F., Freitas, M. do C. D., & Tavares, S. F. (2020). Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121046. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046>
- Berardi, P., & Dias, J. M. (2018). O mercado da economia circular: Como os negócios estão sendo afetados pelo modelo que substitui o linear e como serão ainda mais a médio e longo prazos. *GV-Executivo*, 17(5), 34–37.
- Burlingame, B. (2001). What is a nutrient? *Journal of Food Composition and Analysis*, 14(1), 1. <https://doi.org/10.1006/jfca.2001.0978>
- Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25, 313–337. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>
- Colglazier, B. W. (2015). *Sustainable development agenda: 2030*. Science.yr:2015 vol:349 iss:6252 pg:1048 -1050.
- Delgado-Aguilar, M., Puig, R., Sazdovski, I., & Fullana-i-Palmer, P. (2020). Polylactic acid/polycaprolactone blends: On the path to circular economy, substituting single-use commodity plastic products. *Materials*, 13(11), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ma13112655>
- Ellen Macarthur Foundation (2012). Towards the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, 2, 23–44.
- Felicio, M., Amaral, D., Esposto, K., & Gabarrell Durany, X. (2016). Industrial symbiosis indicators to manage eco-industrial parks as dynamic systems. *Journal of Cleaner Production*, 118, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.031>
- Fraccascia, L., & Giannoccaro, I. (2020). What, where, and how measuring industrial symbiosis: A reasoned taxonomy of relevant indicators. *Resources, Conservation and Recycling*, 157(February), 104799. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104799>
- Fraser, P., Moultrie, J., Gregory, M., & Lane, M. (2002). *Fraser P, Moultrie J, Gregory M, (2002), The use of maturity models / grids as a tool in assessing product development capability : a review, IEEE International Engineering The use of maturity models / grids as a tool in assessing product development.* 18–20.
- Freire, L. L. R. (2016). Indústria de Vidros Planos. *Caderno Setorial ETENE*, Banco do Nordeste do Brasil, ano 1, n.1.
- Geng, Y., Liu, Z., Xue, B., Dong, H., Fujita, T., & Chiu, A. (2014). Emergency-based assessment on industrial symbiosis: a case of Shenyang Economic and Technological Development Zone. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(23), 13572–13587. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3287-8>
- Goley, A., Corder, G. D., & Giurco, D. P. (2015). Barriers to Industrial Symbiosis: Insights from the Use of a Maturity Grid. *Journal of Industrial Ecology*, 19(1), 141–153. <https://doi.org/10.1111/jiec.12159>
- Gregson, N., Crang, M., Fuller, S., & Holmes, H. (2015). Interrogating the circular economy: the moral economy of resource recovery in the EU. *Economy and Society*, 44(2), 218–243. <https://doi.org/10.1080/03085147.2015.1013353>
- Gulipac, S. (2016). *Industrial Symbiosis : Building on Kalundborg ' s waste management experience.* 17(1), 2015–2017.
- Harris, S. (2004). *Drivers and Barriers to Industrial Ecology in the UK*. Ph.D. Thesis, the University of Edinburgh, Edinburgh, UK 1–211.
- Herzer, E., Robinson, L. C., & Fabiano de Lima, N. (2017). *Simbiose Industrial E Produção Mais Limpa Como Industrial Symbiosis and Clean Production As.* 273–288.
- Leigh, M., & Li, X. (2015). Industrial ecology, industrial symbiosis and supply chain environmental sustainability: A case study of a large UK distributor.

Journal of Cleaner Production, 106, 632–643. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.022>

Mantese, G. C., & Amaral, D. C. (2016). Identification and qualitative comparison of performance indicators of industrial symbiosis. *Revista Produção Online*, 16(4), 1329. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v16i4.2349>

Mortensen, L., & Kørnøv, L. (2019). Critical factors for industrial symbiosis emergence process. *Journal of Cleaner Production*, 212, 56–69. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.222>

Mota, R. C., & Abreu, M. C. S. de. (2015). Simbiose industrial no complexo industrial e portuário do Pecém: explorando elementos determinantes e barreiras. *XVI Congresso Latino-Iberoamericano de Gestão Da Tecnologia*. <http://www.altec2015.org/anais/altec/papers/758.pdf>

Mulrow, J. S., Derrible, S., Ashton, W. S., & Chopra, S. S. (2017). Industrial Symbiosis at the Facility Scale. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 559–571. <https://doi.org/10.1111/jiec.12592>

Neely, A. D., Gregory, M. & Platts, K. (1995), Performance measurement system design: a literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 15 No. 4, pp. 80-116

Prieto-sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2018). Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 179, 605–615. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>

Seroka-stolka, O., & Ociepa-kubicka, A. (2019). ScienceDirect ScienceDirect Green logistics and circular economy Green logistics and circular economy Green Cities 2018. *Transportation Research Procedia*, 39(2018), 471–479. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.049>

Shulla, K., Leal Filho, W., Lardjane, S., Sommer, J. H., Salvia, A. L., & Borgemeister, C. (2019). The contribution of Regional Centers of Expertise for the implementation of the 2030 Agenda for Sustainable Development. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117809. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117809>

Valenzuela-Venegas, G., Salgado, J. C., & Díaz-Alvarado, F. A. (2016). Sustainability indicators for the assessment of eco-industrial parks: classification and criteria for selection. *Journal of Cleaner Production*, 133, 99–116. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.113>

Velenturf, A. P. M., Archer, S. A., Gomes, H. I., Christgen, B., Lag-Brotons, A. J., & Purnell, P. (2019). Circular economy and the matter of integrated resources. *Science of the Total Environment*, 689, 963–969. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.449>

Wen, Z., & Meng, X. (2015). Quantitative assessment of industrial symbiosis for the promotion of circular economy: A case study of the printed circuit boards industry in China's Suzhou New District. *Journal of Cleaner Production*, 90, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.041>

Wendler, R. (2012). The maturity of maturity model research: A systematic mapping study. *Information and Software Technology*, 54(12), 1317–1339. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2012.07.007>