

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*  
DOUTORADO EM AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SUSTENTABILIDADE EM  
EMPRESAS BENEFICIADORAS DE GEMAS COM INCORPORAÇÃO  
DE TECNOLOGIAS**

Fernanda Cristina Wiebusch Sindelar

Lajeado, setembro de 2015

Fernanda Cristina Wiebusch Sindelar

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SUSTENTABILIDADE EM  
EMPRESAS BENEFICIADORAS DE GEMAS COM INCORPORAÇÃO  
DE TECNOLOGIAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do grau de Doutor em Ambiente e Desenvolvimento na área de concentração Tecnologia e Ambiente.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Simone Stülp

Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Júlia E. Barden

Lajeado, setembro de 2015

## **AGRADECIMENTOS**

Ao finalizar este trabalho, após anos de dedicação e persistência, gostaria de agradecer a todos que contribuíram de diferentes maneiras e em diferentes momentos para que fosse possível a sua realização:

- a Deus, por me guiar e dar forças ao longo de toda esta caminhada;
- a minha família, em especial a meu esposo Engelbert e a meus pais, Werner e Beatriz Wiebusch, pela paciência, incentivo, carinho e amor incondicional em todos os momentos;
- aos meus amigos, pelo apoio, incentivo e compreensão nos momentos de ausência;
- às professoras Simone Stülp e Júlia Elisabete Barden, pelas orientações, competência, dedicação e confiança;
- aos professores e colegas do PPGAD, pelos ensinamentos, auxílios e a amizade;
- aos colegas da UNIVATES, pelo apoio e auxílio;
- à UNIVATES e à FAPERGS, pela concessão da bolsa;
- aos pesquisadores do NEMP/UNIVATES, pelas contribuições na pesquisa e desenvolvimento da tecnologia;
- à empresa Pedras Oriente, por permitir e comprometer-se com o desenvolvimento da pesquisa;
- à Cerâmica Bruxel, por contribuir com a realização do trabalho e produzir os corpos de prova utilizados nas análises;

- Aos funcionários do CTTA, por realizarem os testes e as avaliações das amostras de resíduos e dos blocos cerâmicos;

Enfim, a todos que partilharam da minha caminhada, concederam apoio e estímulo, contribuíram de forma direta e indireta para a realização do trabalho, meus sinceros agradecimentos!

*"Nós prosperamos e sobrevivemos no planeta terra como uma única família humana. E uma das nossas principais responsabilidades é deixar para as gerações sucessoras um futuro sustentável" (Kofi A. Annan).*

## RESUMO

A busca pela sustentabilidade caracteriza-se como um novo desafio para as empresas devido ao esgotamento de recursos e à degradação de ambientes naturais. Nesse contexto, esta tese teve o objetivo de propor a incorporação de tecnologias visando a recuperação e reciclagem de materiais em empresas que beneficiam gemas e avaliar suas condições de sustentabilidade a partir da proposição de indicadores de sustentabilidade. Para isso, foram desenvolvidas diferentes etapas, realizadas no período de julho de 2012 a junho de 2015, iniciando com o acompanhamento e análise do processo produtivo e a elaboração do inventário de entradas e saídas do processo, visando identificar os pontos críticos. Após, ocorreu a proposição de tecnologia que permite o tratamento do lodo e reciclagem de materiais. Por fim, elaborou-se uma proposta de indicadores de sustentabilidade direcionados para as empresas que compõem o setor e realizou-se a avaliação das condições de sustentabilidade em uma empresa pertencente ao setor. Os resultados alcançados contribuem, principalmente, com a proposição de tecnologia de filtração por trompa d'água, em escala piloto, para o tratamento do lodo, principal resíduo gerado no processo produtivo, favorecendo o desenvolvimento da produção em um contexto ambientalmente mais correto, e com a proposição de um quadro de indicadores de sustentabilidade direcionados para as empresas que beneficiam gemas, auxiliando na avaliação e no monitoramento das suas atividades em busca de uma condição de maior sustentabilidade.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade. Tecnologias limpas. Reciclagem. Indicadores. Beneficiamento de gemas.

## **ABSTRACT**

The search for sustainability is characterized as a new challenge for companies due to the resource depletion and degradation of natural environments. In this context, this thesis intended to propose the incorporation of technologies aiming the recovery and recycling of materials in companies that process gems and to assess its sustainability conditions from the proposition of sustainability indicators. For this, different steps were developed, carried out in the period from July 2012 to June 2015, starting with the monitoring and analysis of the productive process and the elaboration of the inventory of inputs and outputs of the process, aiming to identify the critical points. After, there happened the technology proposition that allows the sludge treatment and the recycling of materials. Finally, there was elaborated a proposal of sustainability indicators directed to the companies that compose the sector and there was done the assessment of the sustainability conditions in a company of the sector. The results that were achieved contribute, mainly with the filtering technology proposition for water jet pump, on a pilot scale, for sludge treatment, main waste generated in the productive process, favoring the development of production in a more environmentally correct context, and with the proposition of a sustainability indicator table directed to the companies that process gems, assisting in assessment and monitoring of its activities in pursuit of a more sustainable condition.

**Keywords:** Sustainability. Clean technologies. Recycling. Indicators. Processing gems.

## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 01 – Tripé da sustentabilidade proposto por Elkington e as interrelações entre as dimensões ambiental, econômica e social ..... | 39  |
| Figura 02 – Representação dos dados até as informações .....   | 47  |
| Figura 03 – A pirâmide de informações na teoria e na prática .....   | 48  |
| Figura 04 – O ponto doce da sustentabilidade .....   | 65  |
| Figura 05 – Procedimentos metodológicos desenvolvidos no estudo .....  | 96  |
| Figura 06 – Ciclo de vida geral dos materiais utilizados no processo de beneficiamento de gemas .....                                  | 100 |
| Figura 07 – Lodo gerado nos processos de corte e torneamento .....   | 101 |
| Figura 08 – Sistema de extração Soxhlet .....  | 102 |
| Figura 09 – Cartucho com amostra de lodo .....   | 102 |
| Figura 10 – Sistema de filtração com bomba hidrovácuo .....  | 104 |
| Figura 11 – Sistema utilizado na filtração a vácuo .....   | 105 |
| Figura 12 – Amostras de óleo extraído por filtração a vácuo .....  | 105 |
| Figura 13 – Resíduo sólido após o processo de filtração .....  | 106 |
| Figura 14 – Sistema de trompa d'água utilizado no estudo .....   | 106 |
| Figura 15 – Etapas desenvolvidas para elaboração da proposta de indicadores de sustentabilidade .....                                  | 109 |
| Figura 17 – Imagens do depósito de gemas da empresa colaboradora .....   | 116 |
| Figura 18 – Máquina serra caixão e as gemas cortadas em chapas .....   | 117 |
| Figura 19 – Etapas de cortes em filete, pré-forma e forma .....  | 118 |
| Figura 20 – Torneamento manual e automático .....  | 118 |
| Figura 21 – Lixamento e polimento .....  | 119 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 22 – Exemplos de modelos produzidos.....   | 120 |
| Figura 23 – Inventário de entradas e saídas do processo de beneficiamento de gemas .....  | 121 |
| Figura 24 – Resíduo de cacos de gemas .....   | 123 |
| Figura 25 – Inventário quantitativo mensal em 2014 de entradas e saídas do processo de beneficiamento de gemas na empresa Pedras Oriente .....                                      | 125 |
| Figura 26 – Análise térmica gravimétrica dos blocos cerâmicos com e sem a incorporação do lodo .....  | 133 |
| Figura 27 – Proposta de indicadores para avaliação das condições de sustentabilidade em empresas do setor de beneficiamento de gemas, classificados por atributos e dimensões ..... | 136 |
| Figura 28 – Dimensão ambiental com indicadores e variáveis .....  | 137 |
| Figura 29 – Dimensão econômica com indicadores e variáveis.....   | 139 |
| Figura 30 – Dimensão social com indicadores e variáveis.....  | 140 |
| Figura 31 – Dimensão tecnológica com indicadores e variáveis .....  | 141 |

## **LISTA DE TABELAS**

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 01 – Número de estabelecimentos com atividades produtivas vinculadas ao setor de gemas e joias no RS .....                                   | 87  |
| Tabela 02 – Determinação do teor de óleo contido no lodo proveniente do beneficiamento de gemas a partir da extração por soxhlet com solvente ..... | 128 |
| Tabela 03 – Resultados do tratamento do resíduo com a filtração a vácuo .....   | 129 |
| Tabela 04 – Resultados do tratamento do resíduo com a trompa d'água .....   | 130 |
| Tabela 05 – Desempenho mensal de variáveis a partir uso de tecnologia.....  | 131 |

## LISTA DE QUADROS

|   |     |
|---|-----|
| Quadro 01 – Princípios de Bellagio para avaliação do progresso em direção ao desenvolvimento sustentável .....          | 50  |
| Quadro 02 – Comparativo entre abordagem das ações Fim-de-Tubo e Produção mais Limpa                                     | 67  |
| Quadro 03 – Dados da empresa colaboradora do estudo.....  | 97  |
| Quadro 04 – Proposta de indicadores classificados por dimensão, atributo, descrição variáveis, parâmetros e pesos ..... | 112 |
| Quadro 05 – Resultados dos indicadores da dimensão ambiental em 2014.....   | 143 |
| Quadro 06 – Resultados dos indicadores da dimensão econômica em 2014 .....  | 146 |
| Quadro 07 – Resultados dos indicadores da dimensão social em 2014 .....   | 148 |
| Quadro 08 – Resultados dos indicadores da dimensão tecnológica em 2014 .....  | 150 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |     |
|---|-----|
| Gráfico 01 – Faturamento estimado da cadeia produtiva de gemas e joias em 2011-2012 (em milhões de R\$).....                                  | 83  |
| Gráfico 02 – Exportações, importações e saldo da balança comercial do Capítulo 71 da NCM no período de 2005 a 2014 (em milhões de US\$) ..... | 83  |
| Gráfico 03 – Participação percentual dos produtos do capítulo 71 no total exportado em valor .....  | 84  |
| Gráfico 04 – Participação percentual dos produtos do capítulo 71 no total exportado em valor no RS entre 2000 e 2014.....                     | 86  |
| Gráfico 05 – Desempenho das variáveis da dimensão ambiental .....   | 145 |
| Gráfico 06 – Desempenho das variáveis da dimensão econômica.....  | 147 |
| Gráfico 07 – Desempenho das variáveis da dimensão social.....   | 149 |
| Gráfico 08 – Desempenho das variáveis da dimensão tecnológica.....  | 151 |
| Gráfico 09 – Diagrama da sustentabilidade por indicador .....   | 152 |
| Gráfico 10 – Avaliação das condições de sustentabilidade por dimensão.....  | 154 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|        |   |
|--------|---|
| ABNT   | Associação Brasileira de Normas Técnicas  |
| ACV    | Avaliação do Ciclo de Vida  |
| APL    | Arranjo Produtivo Local   |
| ARIP   | Aterro de Resíduos Industriais Perigosos  |
| CMMAD  | Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento  |
| CNTL   | Centro Nacional de Tecnologias Limpas   |
| CNUMAD | Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento                                 |
| COFINS | Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social  |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente  |
| CSD    | Commission on Sustainable Development - Comissão para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas |
| CTPPA  | Centro Tecnológico em Pesquisa e Produção de Alimentos  |
| DNPM   | Departamento Nacional de Produção Mineral   |
| EPI    | Equipamentos de Proteção Individual   |
| FEPAM  | Fundação Estadual de Proteção Ambiental   |
| FTIR   | Fourier transform infrared spectroscopy - Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier |
| GC/MS  | Gas Chromatography–Mass Spectrometry - Cromatografia a Gás acoplada ao Espectrômetro de Massas        |
| GRI    | Global Reporting Initiative   |
| IBGE   | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística   |

|               |  |
|---------------|--|
| IBGM          | Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos   |
| ICMS          | Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços  |
| IISD          | International Institute for Sustainable Development - Instituto Internacional para o Desenvolvimento Sustentável   |
| IPI           | Imposto sobre Produtos Industrializado   |
| ISO           | International Organization for Standardization – Organização Internacional para Padronização                       |
| IUCN          | International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources   |
| LCSP          | Lowell Center for Sustainable Production - Centro de Lowell para a Produção Sustentável                            |
| MDIC          | Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior   |
| MMA           | Ministério do Meio Ambiente  |
| MTE           | Ministério do Trabalho e Emprego   |
| NBR           | Norma Brasileira   |
| NCM           | Nomenclatura Comum do Mercosul   |
| NEMP/UNIVATES | Núcleo de Eletrofotocímica e Materiais Poliméricos da Univates   |
| OECD          | Organisation for Economic Co-Operation and Development - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico |
| ONG           | Organização não governamental  |
| ONU           | Organização das Nações Unidas  |
| PIS           | Programa de Integração Social  |
| PNRS          | Política Nacional de Resíduos Sólidos  |
| PNUMA         | Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente  |
| P + L         | Produção mais Limpa  |
| P & D         | Pesquisa e Desenvolvimento   |
| RAIS          | Relação Anual de Informações Sociais   |
| RS            | Rio Grande do Sul  |
| RSE           | Responsabilidade Sócio-Empresarial   |
| SEBRAE        | Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas   |
| SETAC         | Society of Environmental Toxicology and Chemistry  |
| TGA           | Análise Térmica Gravimétrica   |
| UNCTAD        | United Nation Conference on Trade and Development  |

|        |  |
|--------|--|
| UNEP   | United Nation Environmental Programme                            |
| UNESCO | United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization |
| UNIDO  | United Nations Industrial Development Organization               |
| WBCSD  | World Business Council for Sustainable Development               |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                |                            |
|----------------|----------------------------|
| cm             | Centímetro (área)          |
| g              | Gramas (volume)            |
| kg             | Quilograma (massa)         |
| kWh            | Quilowatt-hora             |
| l              | Litros (volume)            |
| mg/l           | Miligramas por litro       |
| ml             | Militros (volume)          |
| m <sup>2</sup> | Metro quadrado (área)      |
| m <sup>3</sup> | Metro cúbico (volume)      |
| R\$            | Reais                      |
| s              | Desvio padrão              |
| t              | Toneladas (volume)         |
| US\$           | Dólares                    |
| $\bar{x}$      | Média                      |
| %              | Percentual                 |
| °C             | Grau Celsius (temperatura) |
| °C/min         | Grau Celsius por minuto    |

## SUMÁRIO

|  |            |
|--|------------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>18</b>  |
| <b>2 A SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL.....</b>                                 | <b>22</b>  |
| 2.1 Sustentabilidade: concepções e conceituações .....                       | 23         |
| 2.2 Dimensões da Sustentabilidade .....                                      | 39         |
| 2.3 Indicadores de Sustentabilidade .....                                    | 43         |
| 2.4 Estratégias para a Sustentabilidade empresarial.....                     | 62         |
| 2.4.1 A Produção mais Limpa.....   | 70         |
| 2.4.2 Avaliação do Ciclo de Vida do Produto .....                            | 77         |
| <b>3 SETOR DE GEMAS .....</b>  | <b>81</b>  |
| 3.1 A produção e importância econômica do setor.....                         | 82         |
| 3.2 Características e dificuldades do setor de beneficiamento de gemas ..... | 87         |
| 3.3 A legislação e o passivo ambiental do setor .....                        | 90         |
| <b>4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>                                    | <b>96</b>  |
| 4.1 Acompanhamento e análise do processo produtivo.....                      | 98         |
| 4.2 Inventário de entradas e saídas do processo .....                        | 99         |
| 4.3 Proposição de tecnologias .....  | 101        |
| 4.4 Proposição de indicadores de sustentabilidade.....                       | 109        |
| <b>5 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>  | <b>115</b> |
| 5.1 O Processo de beneficiamento de gemas.....                               | 115        |
| 5.2 Análise do inventário de entradas e saídas do processo produtivo.....    | 120        |
| 5.3 Tecnologias aplicadas ao processo produtivo.....                         | 127        |
| 5.3.1 Caracterização do lodo .....   | 127        |
| 5.3.2 Filtração a vácuo.....   | 128        |
| 5.3.3 Filtração por trompa d'água .....                                      | 129        |

|  |            |
|--|------------|
| 5.3.4 Benefícios do uso da tecnologia .....                    | 131        |
| 5.4 Proposta de indicadores de sustentabilidade .....          | 134        |
| 5.5 Avaliação das condições de sustentabilidade.....           | 142        |
| 5.5.1 Dimensão Ambiental .....                                 | 142        |
| 5.5.2 Dimensão Econômica .....                                 | 145        |
| 5.5.3 Dimensão Social .....                                    | 148        |
| 5.5.4 Dimensão Tecnológica.....                                | 150        |
| 5.5.5 Índice de Sustentabilidade .....                         | 151        |
| <b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                             | <b>155</b> |
| <b>7 CONCLUSÕES.....</b>                                       | <b>163</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                       | <b>165</b> |
| <b>APÊNDICES .....</b>   | <b>178</b> |
| APÊNDICE A – Questionário .....                                | 179        |
| APÊNDICE B – Definição dos indicadores .....                   | 180        |
| APÊNDICE C – Normalização das variáveis e indicadores .....    | 183        |
| <b>ANEXOS .....</b>  | <b>186</b> |
| ANEXO A – Laudo de análise do GC/MS dos blocos cerâmicos ..... | 187        |
| ANEXO B – Avaliação do teor de benzeno no lodo por GC/MS.....  | 194        |

# 1 INTRODUÇÃO

As sociedades durante um longo período buscaram o crescimento econômico ilimitado por meio da ascensão do capitalismo industrial, através do qual foram capazes de produzir bens em larga escala, sem se preocupar com os limites da natureza. Embora esse crescimento tenha contribuído para o aumento da riqueza, prosperidade e melhor qualidade de vida, também ocorreu de forma desigual entre as regiões e resultou em parte no esgotamento de recursos e na degradação de ambientes naturais.

Com o agravamento das questões ambientais, principalmente a partir da segunda metade do século XX, diversos grupos e organizações passaram a discutir o tema, tais como: o Clube de Roma, a Organização das Nações Unidas (ONU) e seus diversos órgãos e programas, a *International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources* (IUCN), entre outros (SACHS, 2009; NASCIMENTO, 2012; IUCN, 1980; CMMAD, 1991). Através da publicação de documentos e da promoção de conferências, buscaram alertar a população sobre a necessidade de reconsiderar o padrão de produção vigente e a existência de limites naturais. Essas discussões, somadas à preocupação com a capacidade de suporte e reprodução dos ecossistemas, contribuíram para a difusão dos debates em torno da sustentabilidade.

Embora o termo sustentabilidade já houvesse sido empregado anteriormente na história para expressar a preocupação com o uso racional dos recursos (BOFF, 2012), foi nas últimas décadas que recebeu maior destaque em função do reconhecimento da finitude dos recursos naturais e dos danos decorrentes da crise ambiental. Em consequência, iniciam-se as discussões sobre a necessidade de se reavaliar as relações entre o homem e a natureza.

Na literatura é possível encontrar diversos conceitos de sustentabilidade, mas estes, de forma geral, buscam expressar a necessidade de haver um equilíbrio entre as ações humanas e a preservação do meio ambiente para a geração atual e as futuras, considerando que existem limites para o crescimento e o padrão de consumo das sociedades, conforme conceito proposto pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD, 1991).

Entre os agentes econômicos, as empresas possuem um papel fundamental na busca por esses objetivos, pois, ao mesmo tempo em que são responsáveis pela produção de bens e serviços que satisfazem as necessidades humanas, também são responsáveis por consumir uma quantidade significativa de materiais e gerar resíduos que são dispostos na natureza. Em consequência, a busca pela sustentabilidade tem se tornado um novo desafio para as empresas devido ao esgotamento de recursos não renováveis e à degradação ambiental. Assim, as empresas precisam encontrar mecanismos para tornar os processos produtivos mais eficientes e menos poluidores.

Os debates sobre a sustentabilidade e a preocupação com o meio ambiente também contribuíram para o desenvolvimento de novos valores junto às sociedades, as quais também passaram a demandar das empresas que desenvolvam sua produção em um contexto ambientalmente correto e que garanta a qualidade de vida dos trabalhadores.

Dentre as atividades produtivas, uma que se destaca na economia do Rio Grande do Sul, devido a sua capacidade de geração de emprego e renda, é o setor de gemas e joias. O Estado é o maior produtor de gemas coloridas sem cortes do Brasil e um dos principais produtores de ágata e ametista. Contudo, apesar da importância do setor no mercado nacional e internacional, as empresas que atuam nesse segmento têm desenvolvido suas atividades em meio a diversas dificuldades, entre as quais se destacam: a baixa produtividade, a falta de padronização, o uso reduzido de tecnologias, a comercialização de produtos com baixo valor agregado, o elevado volume de resíduos gerados (BATISTI; TASCH, 2010; FOLLE et al., 2010; SORTI; MAZON, 2011; IBGM, 2015).

Diante desse quadro, as indústrias de beneficiamento de gemas precisam realizar aprimoramentos nos processos de produção e investimentos em tecnologias, buscando melhorias no fluxo de materiais, na redução das perdas e na gestão do passivo ambiental decorrente dessa atividade. Em consequência, surgem os seguintes questionamentos: como ocorre o processo de beneficiamento de gemas? Quais são os principais recursos utilizados e

resíduos gerados com a atividade? Que tecnologias podem ser introduzidas nesse processo, de modo a possibilitar a recuperação e reciclagem de resíduos? Que indicadores permitem o monitoramento das condições para a sustentabilidade das empresas?

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi propor a incorporação de tecnologias visando a recuperação e reciclagem de materiais em empresas que beneficiam gemas e avaliar suas condições de sustentabilidade a partir da proposição de indicadores de sustentabilidade.

Para atender a esse objetivo, foram ainda estabelecidos quatro objetivos específicos: a) analisar o processo de beneficiamento de gemas e identificar dificuldades do setor; b) realizar um inventário das entradas e saídas do processo produtivo de gemas, a partir de um estudo de caso junto a uma empresa parceira, visando identificar pontos críticos; c) propor o uso de tecnologias limpas que contribuam para a adequação da atividade e permitam a recuperação e reciclagem de materiais e a redução de perdas nos processos; d) propor indicadores de sustentabilidade que permitam avaliar e monitorar as condições de sustentabilidade das empresas beneficiadoras de gemas.

Esta tese foi desenvolvida em conjunto com a empresa Pedras Oriente Comércio, Importação e Exportação Ltda, classificada como de pequeno porte, através do Programa “Pesquisador na Empresa” – Edital FAPERGS nº 013/2011, com o intuito de apoiar o desenvolvimento de pesquisa em ciência e tecnologia, que contribuísse para a inovação tecnológica, o desenvolvimento empresarial e a competitividade das empresas beneficiadoras de gemas.

Desse modo, buscando responder aos questionamentos e alcançar os objetivos propostos, o trabalho foi organizado em seis partes, além desta introdução.

No segundo capítulo são apresentadas as principais abordagens teóricas da sustentabilidade com o objetivo de identificar sua origem, interpretações e usos. Também são analisadas as suas diferentes dimensões e propostas de indicadores de sustentabilidade. Ademais, como este trabalho é direcionado para empresas beneficiadoras de gemas, aborda-se ainda a sustentabilidade em termos empresariais, a qual pode ser alcançada através da adoção de diferentes estratégias, destacando-se a produção mais limpa e a avaliação do ciclo de vida do produto.

O terceiro capítulo tem como objetivo caracterizar o setor de gemas e joias no RS.

Inicialmente são analisados dados econômicos sobre o desempenho da atividade. Em seguida, são identificadas as principais características e dificuldades enfrentadas pelas empresas que integram o setor a partir da revisão de estudos anteriores. Além disso, é apresentada a legislação incidente sobre o setor no que se refere ao tratamento e disposição de resíduos decorrentes do processo produtivo. Por fim, a análise de estudos anteriores, com o objetivo de avaliar alternativas para o tratamento do resíduo sólido.

No quarto capítulo é apresentada a metodologia usada para o desenvolvimento do presente trabalho. Ela consistiu em quatro etapas: primeiro foi realizado o acompanhamento e feita a análise do processo produtivo de beneficiamento de gemas; em segundo lugar, foi efetuado o inventário de entradas e saídas do processo produtivo; em seguida, foi proposta uma tecnologia visando a recuperação e a reciclagem de resíduos; e, por fim, foi elaborada a proposta de indicadores de sustentabilidade direcionada às empresas responsáveis pelo beneficiamento de gemas. Neste capítulo ainda é apresentada a empresa parceira deste estudo.

O capítulo cinco expõe os resultados obtidos com a realização do trabalho. Inicialmente, descreve-se a análise do processo produtivo e apresenta-se a avaliação do inventário de entradas e saídas, que permitiu a identificação de pontos críticos. Em seguida, são demonstrados os resultados obtidos com a tecnologia sugerida para o tratamento e reciclagem de resíduos, assim como se estimam os benefícios em termos econômicos e ambientais decorrentes do uso dessa tecnologia. Após, apresenta-se a proposta de indicadores de sustentabilidade desenvolvida para avaliação das condições de sustentabilidade em empresas que beneficiam gemas. Esses indicadores servem de ferramenta para diagnosticar a condição em que se encontra a empresa e também auxiliam na avaliação e monitoramento de sua evolução em busca da situação desejada sustentável. E, ao final do capítulo, são demonstrados os resultados da avaliação das condições de sustentabilidade da empresa colaboradora deste estudo.

No sexto capítulo são feitas considerações finais acerca do trabalho desenvolvido. E, por fim, o último capítulo traz as conclusões, as principais contribuições e as limitações deste estudo, bem como a recomendação para trabalhos futuros.

## **2 A SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL**

Na emergência do século XXI, tem se observado uma crise socioambiental sem precedentes como consequência do padrão de produção capitalista. Durante séculos, esse modelo de produção não ponderou a necessidade de reposição que o viabiliza, nem a forma desigual do uso dos recursos entre os diferentes grupos da população, causando a devastação de diversos ambientes naturais. A substituição do trabalho pelo capital, através do uso de tecnologias, também foi seguida pelo aumento do uso de energias e de outras matérias primas, resultando em uma exploração excessiva dos recursos naturais escassos (ELKINGTON, 2012).

Para Leff (2001), essa problemática emerge nas últimas décadas do século XX como um reflexo da crise de racionalidade econômica que norteou o processo de modernização das sociedades. Desde então, a humanidade passou a sentir as ameaças e riscos decorrentes dessa exploração desmedida de recursos naturais não renováveis e teve percepção do mundo finito, suscitando a necessidade de discutir a questão da sustentabilidade (BOFF, 2012).

Nesse sentido, este capítulo tem por objetivo analisar as principais abordagens da sustentabilidade e identificar os fatores que contribuem para o alcance desse objetivo. Inicialmente foi realizada uma revisão da literatura, buscando identificar as origens e as principais interpretações sobre a sustentabilidade. Também são apresentados alguns acontecimentos que contribuíram para a reintrodução da temática ambiental nos debates econômicos e documentos que demonstram a existência dos limites do meio ambiente e a necessidade do desenvolvimento de um novo paradigma produtivo, assim como, do estabelecimento de um novo modelo de desenvolvimento, o desenvolvimento sustentável.

Em seguida, são analisadas as diferentes dimensões da sustentabilidade. Posteriormente são apresentadas questões gerais acerca dos indicadores de sustentabilidade, como: conceitos, características, funções, diretrizes para a sua definição, vantagens e desvantagens de seu uso. Além disso, também foi realizada uma revisão e desenvolvida uma análise das principais propostas de indicadores de sustentabilidade aplicáveis às empresas.

Por último, aborda-se a sustentabilidade em termos empresariais, apresentando definições de uma produção sustentável e duas estratégias que podem ser adotadas pelas empresas que buscam tornar seus processos produtivos mais eficientes: a produção mais limpa e a avaliação do ciclo de vida do produto.

## **2.1 Sustentabilidade: concepções e conceituações**

Na literatura e nos discursos diários, a palavra sustentabilidade vem sendo utilizada para expressar diferentes conceitos, em alguns casos até controversos e, por esse motivo, alguns autores criticam a falta de uma definição clara. Como consequência, Veiga (2011) afirma que o seu uso tem sido banalizado, embora na maioria das vezes busque expressar vagas ambições de continuidade, durabilidade e perenidade, remetendo ao futuro. Para Cavalcanti (2012), a palavra sustentabilidade vem sendo empregada como uma espécie de mantra.

Sua origem também é controversa, não havendo consenso entre os autores. Para Boff (2012), a palavra possui mais de 400 anos de história e está associada à silvicultura. O autor relata que o uso da madeira no início da Idade Moderna foi tão intenso, que algumas florestas foram sendo reduzidas. Como consequência, em 1560, na província da Saxônia/Alemanha, teriam surgido as primeiras discussões sobre a preocupação com o uso racional das florestas, com a sua regeneração e manutenção permanente. Para expressar essa ideia, empregaram a palavra *nachhaltigkeit*, a qual foi traduzida como sustentabilidade.

Na mesma região, em 1713, o Capitão Hans Carl Von Carlowitz observou que algumas florestas estavam sendo abatidas para atender à nova onda de progresso e destacou a necessidade do cuidado com o uso da madeira, defendendo que o corte deveria se dar em função da capacidade de suporte das florestas. Seu discurso alertou as autoridades locais, que

passaram a incentivar o replantio das árvores (BOFF, 2012).

Em 1795, Carl Georg Ludwig Hartig também ressaltou a necessidade de se avaliar o impacto do desflorestamento e do uso das florestas com o intuito de garantir que as futuras gerações tivessem as mesmas vantagens que a geração presente. Essa preocupação com sustentabilidade das florestas teria sido responsável pelo surgimento da silvicultura como ciência. E, desde então, a palavra sustentabilidade continuou a ser empregada, na maioria das vezes, associada a essa nova área do conhecimento (BOFF, 2012).

Para Veiga (2011) e Nascimento (2012), entretanto, o debate da sustentabilidade tem duas origens: uma vinculada à disciplina de biologia, por meio da ecologia, e a outra vinculada à disciplina de economia. Na biologia, o conceito é empregado para expressar a capacidade de recuperação e reprodução dos ecossistemas (resiliência) em decorrência das agressões antrópicas (uso abusivo dos recursos naturais, desflorestamento, fogo, etc.) ou naturais (terremoto, tsunamis, fogo, etc.) (NASCIMENTO, 2012). Assim, o termo sustentabilidade ecossistêmica passou a expressar a capacidade que um sistema tem para enfrentar distúrbios e conseguir manter sua função e estrutura, ou seja, “sua habilidade de absorver choques, adequar-se a eles, e até mesmo, deles tirar benefícios, por adaptação e organização” (VEIGA, 2011, p. 17).

Na economia, a sustentabilidade passou a ser empregada como um adjetivo do processo de desenvolvimento, como decorrência da noção de que o atual padrão de produção e consumo não tem condições de perdurar, marcando os limites do crescimento econômico. Dessa forma, o conceito de sustentabilidade expressaria a noção de que os recursos naturais são finitos e estão sendo gradativamente reduzidos (NASCIMENTO, 2012).

Veiga (2011), entretanto, resalta que, no âmbito da economia, existem divergências entre três concepções distintas de sustentabilidade: a fraca, a forte, e aquela desenvolvida a partir da perspectiva biofísica. Na concepção da sustentabilidade fraca, a condição necessária e suficiente para alcançar a sustentabilidade seria transmitir para as futuras gerações o somatório dos três tipos de capital (o capital propriamente dito, o capital natural-ecológico e o capital humano-social<sup>1</sup>). A sustentabilidade forte, por outro lado, estabelece a necessidade de

---

<sup>1</sup> O capital é tradicionalmente associado aos meios de produção (fábricas, edifícios, ferramentas e outros artefatos físicos). O capital natural entendido como o estoque de recursos renováveis e não renováveis. E o capital humano associado ao estoque de educação, habilidades, cultura e conhecimento armazenado nos próprios seres humanos (DALY; COSTANZA, 1992).

manter constantes ao menos os serviços do capital natural, rejeitando a ênfase nos estoques. E, na concepção da perspectiva biofísica, a economia não é um sistema autônomo, mas sim, dependente da evolução darwiniana e da segunda lei da termodinâmica<sup>2</sup>. Para essa visão, a sustentabilidade está associada à minimização dos fluxos de energia e matéria que atravessam esse subsistema, desvinculando os avanços sociais qualitativos daqueles infundáveis aumentos quantitativos da produção e do consumo.

De forma complementar, Daly e Costanza (1992) entendem que, para alcançar a sustentabilidade, a economia deve ser compreendida como um subsistema do sistema ecológico maior. Para os autores, uma condição mínima necessária para a sustentabilidade é a manutenção ou a constância do estoque total de capital natural, sendo este definido como um fluxo de bens e serviços valiosos para o futuro, de modo que seja igual ou superior ao nível atual. O capital natural pode ser dividido em renovável (gerado e sustentado pelas funções e processos dos ecossistemas) e não renovável (extraído dos ecossistemas e utilizado pelos homens como fonte de recursos em processos produtivos, tais como, os depósitos de combustíveis e minerais). Assim, os autores definem a sustentabilidade fraca como a manutenção do capital natural total feito pelo homem, enquanto que a sustentabilidade forte representaria a manutenção do capital natural e do capital humano separadamente.

Até a década de 1970, o termo “sustentável” era utilizado basicamente por algumas comunidades científicas para indicar a possibilidade de um ecossistema não perder sua resiliência, mesmo que estivesse sujeito à intervenção humana. Contudo, desde então, disseminaram-se as discussões nos meios científicos, nas empresas e na sociedade sobre os limites do crescimento (BOFF, 2012). A partir da década de 1980, seu uso passou a ser intensificado para qualificar o desenvolvimento (VEIGA, 2011).

Para Leff (2001, p. 15), a sustentabilidade surge no contexto da globalização, a partir “do reconhecimento da função do suporte da natureza, condição e potencial do processo de produção”, sendo um sinal de reorientação do processo civilizatório da humanidade. Em

---

<sup>2</sup> Também conhecida como Lei da Entropia, ela estabelece que uma quantidade de energia armazenada (entropia) em um sistema fechado aumenta, de forma constante, até o ponto em que a ordem desse sistema se transforma continuamente em desordem. “A lei da Entropia nos ensina que a regra da vida biológica, e no caso do homem, de sua continuação econômica, é muito mais severa. Em termos de entropia, o custo de todo o empreendimento biológico ou econômico é sempre maior do que o produto. Em termos de entropia, tais atividades se traduzem necessariamente por um déficit” (GEORGESCU-ROEGAN, 2012, p. 62). Em outras palavras, essa lei nos diz que o processo econômico é responsável por transformar recursos naturais de valor (baixa entropia) em resíduos (alta entropia).

outras palavras, o autor afirma que “a sustentabilidade aparece como uma necessidade de restabelecer o lugar da natureza na teoria econômica e as práticas de desenvolvimento, internalizando condições ecológicas da produção que assegurem a sobrevivência e um futuro para a humanidade” (LEFF, 2001, p. 48).

Esse pensamento esteve presente nas sociedades até o século XVI, pois prevalecia a ideia de que a produção e a riqueza extraídas da natureza tinham limites. Porém, com o surgimento do mercantilismo e a ampliação das rotas comerciais marítimas, a lógica do sistema produtivo modificou-se e o entesouramento do dinheiro tornou-se regra. A partir daí, a principal preocupação das sociedades passou a ser com o valor dos produtos, e não mais com os limites da natureza (ALMEIDA, 1999).

Segundo Veiga (2006), com o surgimento da Revolução Industrial, em meados do século XVIII, as sociedades passaram a focar-se quase que inteiramente na busca pelo crescimento econômico intensivo (o padrão de vida da população residente nas regiões onde esse crescimento se manifestou inicialmente foi multiplicado por dez vezes). Contudo, o autor ressalta que esse crescimento intensivo não é resultado exclusivo da Revolução Industrial, pois não se pode desconsiderar o crescimento anterior ocorrido e que foi a base desse processo revolucionário, assim como, o crescimento que ocorreu em milênios anteriores, em especial no Oriente. Além disso, destaca que não foi a Revolução Industrial em si, com a emergência das fábricas, operários e máquinas a vapor, a principal referência de mudança, mas sim, a união da ciência e da tecnologia, no final do século XIX (VEIGA, 2006).

Para Boff (2012), a Revolução Científica do século XVI, somada com a primeira Revolução Industrial a partir de 1730, fizeram com que o Ocidente passasse a buscar o grande ideal da modernidade: o progresso ilimitado, obtido através da produção industrial, com a produção de bens de consumo em larga escala, e a exploração da Terra, considerada como um depósito de recursos, sem espírito, que o homem poderia utilizar para satisfazer suas vontades.

Com o surgimento do liberalismo econômico, no século XVIII, a ciência econômica passa a ser dominada pelo paradigma da racionalidade, o qual prescindia da ética. Acreditavam que no capitalismo era possível haver exploração econômica, sem coibir a liberdade dos homens, que eram livres para vender o que possuíam (enquanto alguns possuíam bens, outros somente dispunham de sua força de trabalho). Assim, a liberdade era

compatível com a exploração econômica, que resultaria no crescimento, pois, como o mercado se autorregularia, geraria renda e o desenvolvimento viria naturalmente (ALMEIDA, 1999).

Esse crescimento econômico permitiu uma maior geração de riqueza, trazendo prosperidade e melhor qualidade de vida. Contudo, foi desordenado e acompanhado do consumo de grandes quantidades de energia e de recursos naturais, assim como, foi responsável pela geração de um quadro de degradação contínua do meio ambiente, através do aumento da contaminação e a possibilidade do esgotamento de recursos (DIAS, 2011).

Segundo Sachs (2000), esse modelo de produção preocupa-se exclusivamente com a transformação da natureza em matérias-primas e o uso de recursos naturais para produção de bens de consumo e de capital, ignorando os processos ecológicos que renovam a natureza e as necessidades das pessoas não satisfeitas pela lógica do mercado. Ribeiro (2008, p. 413), de maneira complementar, afirma que essa “racionalidade produtivista de sociedade de consumo é incompatível com as diversas temporalidades que integram os sistemas naturais”. Enquanto o consumo de matéria-prima e energia cresce, o meio ambiente não tem condições de absorver todos os dejetos da produção e repor a base material.

Conforme Leff (2001), a racionalidade econômica e os paradigmas teóricos que impulsionaram e legitimaram o crescimento econômico e excluíram a natureza da esfera da produção foram responsáveis pela geração dos processos de destruição ecológica e degradação do meio natural, resultando em uma crise ambiental, a qual se torna evidente a partir da década de 1960. Essa crise é decorrente da “irracionalidade ecológica dos padrões dominantes de produção e consumo” e marca “os limites do crescimento econômico” (LEFF, 2001, p. 15).

Schumpeter<sup>3</sup>, no início do século XX, já havia alertado para as profundas mudanças tecnológicas, econômicas e sociais pelas quais passaria o sistema capitalista. Na obra “Capitalismo, Socialismo e Democracia”, o autor fez reflexões pessimistas sobre o futuro do capitalismo, devido às contradições entre os fatores que garantem o dinamismo do “sistema”

---

<sup>3</sup> Joseph Alois Schumpeter é considerado um dos economistas mais importantes da primeira metade do século XX. Schumpeter notou que a característica essencial do sistema capitalista era de “destruição criativa”, definido como um processo evolutivo que constantemente modifica a estrutura econômica, destruindo a antiga, e desenvolvendo uma nova. Para Schumpeter, o motor desse processo de mudança são as inovações (novos produtos, novas tecnologias, novos tipos de organização), as quais são resultantes das iniciativas dos agentes econômicos que, apesar de motivados por objetivos individuais, resultam na reestruturação da atividade econômica (SCHUMPETER, 1984).

econômico aos problemas de “ordem” social (SCHUMPETER, 1984). Essas mudanças passaram a ser sentidas já na década de 1950, quando a humanidade percebeu que a poluição nuclear poderia representar um risco ambiental global e que os problemas ambientais não estavam mais restritos a determinados territórios (NASCIMENTO, 2012).

Em 1962, a publicação do livro intitulado *Silent Spring* (Primavera Silenciosa), da bióloga Rachel Louise Carson, denunciava pela primeira vez a contaminação do meio ambiente por resíduos tóxicos decorrentes do uso de pesticidas químicos. Para Almeida (2002), essa publicação contribuiu para a difusão da ideia de que a intensificação da atividade industrial no século XX estava resultando na contaminação do ar, água e solos do planeta, devido ao uso de diversos resíduos químicos, e demonstrando assim, também os riscos da crise ambiental (NASCIMENTO, 2012).

Com o nascimento do Clube de Roma, em 1968, desenvolveu-se um documento intitulado *Limits to Growth* (Limites do Crescimento), o qual foi publicado em 1972 por Dennis L. Meadows e um grupo de pesquisadores que buscava demonstrar a inviabilidade do modelo de crescimento industrial. Segundo esse documento, caso fosse mantido o ritmo de crescimento da população mundial, da industrialização, da produção de alimentos, da poluição e do consumo de recursos, o planeta encontraria seu limite de crescimento em cem anos (THEODORO, 2005). Para Leff (2001), esse documento demonstra que o processo descontrolado de crescimento é o responsável pela crise ambiental. A partir de sua publicação, a consciência ecológica emerge como um manifesto aos limites da economia.

Para modificar essa tendência, seria necessário encontrar um equilíbrio e, para tanto, esse grupo de pesquisadores defendia o crescimento zero como alternativa para cessar disparidades ambientais geradas pelo padrão de desenvolvimento dominante. Conforme Brüseke (2001), os pesquisadores propuseram o congelamento do aumento da população global e do capital industrial, demonstraram a realidade dos recursos limitados, e rediscutiram a tese de Malthus<sup>4</sup> sobre o perigo do crescimento desenfreado da população mundial. No entanto, essas ideias representavam uma crítica ao crescimento contínuo da sociedade e às teorias do desenvolvimento industrial. De maneira complementar, Nascimento (2012) afirma que esse documento defendia a desaceleração do desenvolvimento industrial nos países

---

<sup>4</sup> Thomas Malthus (1766-1834), economista inglês, desenvolveu a Teoria da População, na qual relacionava o crescimento populacional com o aumento da fome e da pobreza, pois afirmava que, enquanto o crescimento da população se daria de forma geométrica, o crescimento da produção ocorreria num ritmo mais lento (de forma aritmética). Contudo, ele subestimou o ritmo e o impacto do progresso tecnológico (FUSFELD, 2001).

desenvolvidos e do crescimento populacional nos países subdesenvolvidos.

Em consequência, teve início uma série de discussões sobre os interesses dos países desenvolvidos e dos não desenvolvidos (o Terceiro Mundo, nomenclatura da época). Enquanto os países desenvolvidos demonstravam preocupação com a crescente degradação ambiental que ameaçava sua qualidade de vida, e defendiam o meio ambiente como ponto central, os países não desenvolvidos estavam preocupados com o combate à pobreza e acreditavam que seu reduzido crescimento econômico era responsável, em parte, pelos problemas ambientais. Em consequência, a problemática ambiental deixou de ficar restrita ao meio natural e passou a introduzir também a temática social. “O binômio desenvolvimento (economia) e meio ambiente (biologia) é substituído por uma tríade, introduzindo-se a dimensão social” (NASCIMENTO, 2012, p. 53).

Também em 1972, e ainda em meio ao impacto provocado pelo relatório do Clube de Roma, a ONU organizou, em Estocolmo, a Primeira Conferência Mundial sobre o Homem e o Meio Ambiente, cujo objetivo foi inserir a dimensão ambiental na agenda internacional. Ela havia sido precedida pelo Encontro Founex, em 1971, em que os organizadores da Conferência de Estocolmo discutiram pela primeira vez as relações entre o desenvolvimento e o meio ambiente. Embora os resultados da Conferência não tenham sido significativos, originaram a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA - *United Nation Environmental Programme - UNEP*). E, desde então, a ONU passou a organizar uma série de encontros e relatórios internacionais sobre a temática (SACHS, 2009).

Segundo Leff (2001), esses eventos foram decisivos para a definição dos limites da racionalidade econômica e da percepção dos desafios a serem enfrentados pelo projeto civilizatório da modernidade, devido à degradação ambiental. A partir de então, observou-se o surgimento de um novo conceito de ambiente que busca integrar “os valores e potenciais da natureza, as externalidades sociais, os saberes subjugados e a complexidade do mundo, negados pela racionalidade mecanicista, simplificadora, unidimensional e fragmentadora que conduziu o processo de modernização” (LEFF, 2001, p.17).

Em 1973, o canadense Maurice Strong propôs a utilização do conceito de ecodesenvolvimento para indicar uma visão alternativa de política de desenvolvimento, ou seja, conforme Sachs (1993, p. 30), “para promover um desenvolvimento sócio-econômico equitativo”. Essa visão buscava integrar a noção de desenvolvimento e o meio ambiente,

contrapondo-se à visão de que o desenvolvimento era sinônimo de crescimento econômico per capita, o qual deveria ser buscado pelos países a qualquer preço, mesmo colocando em risco a natureza. A partir dessa ideia, Ignacy Sachs, aperfeiçoando o conceito, formulou seis princípios básicos que deveriam nortear os caminhos para o desenvolvimento:

“a) a satisfação das necessidades básicas; b) a solidariedade com as gerações futuras; c) a participação da população envolvida; d) a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente em geral; e) elaboração de um sistema social garantindo emprego, segurança social e respeito a outras culturas, e f) programas de educação” (BRÜSEKE, 2001 p. 31).

No ano seguinte, como consequência de uma reunião realizada entre a Conferência das Nações Unidas sobre o Comércio e Desenvolvimento (*United Nation Conference on Trade and Development – UNCTAD*) e o PNUMA, foi assinada a Declaração de Cocoyok. Essa declaração também contribuiu para os debates sobre o desenvolvimento e o meio ambiente, destacando que os países industrializados deveriam reduzir o consumo de recursos e, conseqüentemente, a poluição desproporcional da biosfera (BRÜSEKE, 2001 p. 31).

Para Sachs (1993), o Relatório Founex, a Declaração de Estocolmo e a Declaração de Cocoyok reconheceram a complexidade e a gravidade da questão com que a humanidade se depara para enfrentar os desafios sociais e ambientais. Também repassaram uma mensagem de esperança, alertando sobre a necessidade e a possibilidade de adoção de estratégias ambientalmente adequadas, para promover um desenvolvimento socioeconômico igualitário, ou o ecodesenvolvimento.

Também Celso Furtado, em sua obra *O Mito do Desenvolvimento Econômico*, publicada em 1974, afirmou que “a ideia do desenvolvimento é um simples mito” (FURTADO, 1974, p. 75), pois o desenvolvimento é inalcançável por todos. O estilo de vida desenvolvido após o capitalismo industrial jamais seria alcançado pelos países periféricos, visto que esse processo tende a concentrar cada vez mais a renda nas mãos de uma minoria e intensificar a pressão sobre os recursos não reprodutíveis devido à introdução cada vez maior de novos produtos. Segundo Furtado (1974, p. 75), “o custo, em termos de depredação do mundo físico, desse estilo de vida é de tal forma elevado que toda a tentativa de generalizá-lo levaria inexoravelmente ao colapso de toda uma civilização, pondo em risco as possibilidades de sobrevivência da espécie humana”.

Furtado (1974, p. 68) ainda destacou que “o processo de acumulação tende a ampliar o fosso entre um centro, em crescente homogeneização, e uma constelação de economias

periféricas, cujas disparidades continuam a agravar-se”, distanciando um pequeno grupo privilegiado da massa da população. Por esse motivo considerava o desenvolvimento como excludente, pois não seria possível generalizar os padrões de consumo dos ricos para toda a população, além de haver um ritmo maior de expansão demográfica dos excluídos.

Nesse sentido, o autor defendia que o desenvolvimento deveria ser mais igualitário, beneficiando o consumo da coletividade, e que deveria diminuir o desperdício decorrente da extrema diversificação dos atuais padrões de consumo privado dos grupos privilegiados, de modo a contribuir para redução da pressão sobre os recursos naturais (FURTADO, 1974).

O reconhecimento dos limites da natureza implica a aceitação de limites para a sociedade; e, acreditar que não são necessários limites na sociedade implica na ruptura dos limites naturais. Ou respeita-se os limites naturais, e a atividade humana é também limitada pelas barreiras ecológicas, ou desconsidera-se e rompe-se os limites naturais, a fim de explorar a natureza em benefício da ambição e do consumo ilimitados da sociedade (SACHS, 2000, p. 313).

Já no início da década de 1980, os países do Terceiro Mundo (hoje denominados de países em desenvolvimento), em especial da América Latina, encontravam-se em meio à crise da dívida, e enfrentavam graves processos inflacionários e recessivos. Como consequência, as políticas governamentais passaram a centrar-se em alternativas para a recuperação econômica e o conceito de ecodesenvolvimento acabou caindo em desuso. “As estratégias de poder de ordem econômica dominante foram transformando o discurso ambiental crítico, submetendo-o aos ditames da globalização econômica” (LEFF, 2001, p. 18).

Em 1983 foi criada, pela ONU, a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), cujo lema era “uma agenda global para a mudança”. Essa comissão deveria avaliar a ampliação da degradação ambiental e a eficácia de políticas ambientais criadas para combatê-la. Também deveria propor uma agenda global para o enfrentamento dos principais problemas ambientais, garantindo o progresso humano sem comprometer os recursos para as futuras gerações (ALMEIDA, 2002).

A CMMAD foi coordenada pela primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, ocorrendo a primeira reunião em outubro de 1984. Após 900 dias, publicaram, em abril de 1987, o relatório intitulado “Nosso Futuro Comum” (também chamado de Relatório Brundtland), a partir do qual se disseminou a expressão desenvolvimento sustentável. Nesse relatório, a CMMAD expressa que um novo ciclo de crescimento econômico é possível e essencial para mitigar a pobreza mundial, apoiado em ações que

conservem e ampliem a base de recursos naturais. Para tanto, afirmam que a humanidade é capaz de buscar o desenvolvimento sustentável, ou seja, “de garantir que ele atenda as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem também às suas” (CMMAD, 1991, p. 46). Esse é o conceito clássico de desenvolvimento sustentável mais difundido na literatura.

Esse conceito, entretanto, já havia sido empregado anteriormente pela *International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources* (IUCN), no documento intitulado “*World Conservation Strategy*” em 1980. O objetivo da IUCN com esse documento era propor uma estratégia que pudesse ser utilizada pelos formuladores de políticas ambientalistas e por especialistas em desenvolvimento para alcançar o desenvolvimento sustentável através da conservação dos recursos vivos. A estratégia consistia em explicar como a conservação dos recursos vivos pode contribuir para a sobrevivência da população e o desenvolvimento sustentável, identificar os principais problemas para a conservação e formas de combatê-los e, também, propor formas para alcançar os objetivos propostos (IUCN, 1980).

A IUCN (1980) define o desenvolvimento como a alteração da biosfera e da alocação de recursos humanos, financeiros, vivos e não vivos para satisfazer as necessidades da sociedade e melhorar sua qualidade de vida. Além disso, afirma que para o desenvolvimento ser sustentável deve considerar fatores sociais, ecológicos e econômicos; da base de recursos vivos e não vivos; e considerar as vantagens e desvantagens das ações de curto e longo prazo (IUCN, 1980). No documento, também definem conservação como a capacidade dos seres humanos gerirem a biosfera de modo que ela possa produzir o maior benefício sustentável para a geração presente, garantindo o seu potencial para atender as necessidades e aspirações das gerações futuras (IUCN, 1980).

Assim, o objetivo do desenvolvimento estaria associado ao atendimento das necessidades humanas, enquanto que o da conservação estaria associado à manutenção dos recursos naturais, sendo a busca pela sustentabilidade uma resposta racional à natureza (IUCN, 1980). Para Bellen (2006), o conceito desenvolvido pela IUCN tem como centro a integridade ambiental, enquanto que no conceito apresentado no Relatório Brundtland, a ênfase passa a ser o ser humano, proporcionando um equilíbrio entre as dimensões econômica, ambiental e social.

Para a CMMAD, o desenvolvimento sustentável deve atender “às necessidades básicas de todos e dar a todos a oportunidade de realizar suas aspirações de uma vida melhor” (CMMAD, 1991, p.9-10). Contudo, isso não se caracteriza como uma situação permanente de harmonia, pois a busca pelo desenvolvimento sustentável exige uma mudança no processo de exploração dos recursos, assim como, os investimentos, o desenvolvimento tecnológico e institucional devem ser harmonizados com o presente e o futuro, buscando atender as necessidades humanas. Uma sociedade sustentável deve buscar alcançar a sustentabilidade dos processos de produção e de consumo para garantir que a capacidade de carga natural seja garantida também às futuras gerações (CMMAD, 1991).

Nesse documento ainda são apresentadas ações a serem desenvolvidas pelos Estados, e são definidas metas a serem realizadas no nível internacional, tendo como agentes as diversas instituições multilaterais (JACOBI, 1999). Esse relatório anunciou “o casamento entre o desejo de desenvolvimento e a preocupação com o meio ambiente” (SACHS, 2000, p. 119), deixando clara a “necessidade de uma nova ordem de crescimento – um crescimento vigoroso, ao mesmo tempo social e ambientalmente sustentável” (VEIGA, 2013, p. 29). Para Sachs (2009), o desenvolvimento sustentável é um desafio planetário, que requer estratégias complementares entre as regiões Norte e o Sul.

Meadows (1998) define o desenvolvimento sustentável como resultado de uma construção social de longo prazo em um sistema complexo, através da qual a população e a economia se incorporam dentro dos ecossistemas e fluxos biogeoquímicos do planeta.

Meio ambiente e desenvolvimento não se constituem desafios separados; estão inevitavelmente interligados. O desenvolvimento não se mantém se a base de recursos ambientais se deteriora; o meio ambiente não pode ser protegido se o crescimento não leva em conta as consequências da destruição ambiental. Esses problemas não podem ser tratados separadamente por instituições e políticas fragmentadas. Eles fazem parte de um sistema complexo de causa e efeito (CMMAD, 1991, p. 40).

Assim, proteger o meio ambiente é uma função intrínseca ao conceito de desenvolvimento sustentável, uma vez que “a economia não é apenas a produção da riqueza, e a ecologia não é apenas a proteção da natureza; ambas são também importantes para que a humanidade viva melhor” (CMMAD, 1991, p.41).

Entretanto, a CMMAD também reconheceu que existem limites a esse desenvolvimento, impostos pelo nível de tecnologia e organização social, no que se refere “aos recursos ambientais, e pela capacidade da biosfera de absorver os efeitos da atividade

humana”. Esses limites, no entanto, podem ser desenvolvidos, proporcionando uma nova era de crescimento econômico (CMMAD, 1991, p. 9-10).

Além disso, também enfatizou que não existe um modelo único para o desenvolvimento sustentável, e que as maneiras pelas quais os países irão alcançar a sustentabilidade poderão variar entre os diferentes sistemas econômicos e políticos ao redor do mundo. Ademais, ainda recomendou que a ONU convocasse a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), a qual foi marcada para 1992, no Rio de Janeiro, exatamente duas décadas após a Conferência de Estocolmo (CMMAD, 1991).

No entanto, o conceito apresentado pela CMMAD também é alvo de muitas críticas. De acordo com Nascimento (2012), a força e a fraqueza da definição do termo estão relacionadas ao fato de que ele não esclarece quais são as necessidades humanas atuais e nem as das futuras gerações. Por outro lado, o conceito introduz a questão da “intergeracionalidade no conceito de sustentabilidade, associando-a à noção de justiça social (redução das desigualdades sociais e direito de acesso aos bens necessários a uma vida digna) e aos valores éticos (compromisso com as gerações futuras)” (NASCIMENTO, 2012, p. 54). Em outras palavras, introduz-se ao conceito de sustentabilidade a dimensão ética de forma transversal, ao levar em conta a qualidade de vida e a equidade social da geração atual e das futuras.

Para Boff (2012), a crescente degradação da natureza e os riscos sobre a vida humana aumentaram a pressão sobre os governos e empresas, que passaram a unir esforços para conferir sustentabilidade ao desenvolvimento. No entanto, os conceitos de desenvolvimento e sustentabilidade são contraditórios, pois obedecem a lógicas diferentes. O desenvolvimento é linear, devendo ser crescente, privilegia os indivíduos e enfatiza a competição, supondo a exploração da natureza e gerando profundas desigualdades. A sustentabilidade, ao contrário, provém do âmbito da biologia e da ecologia, cuja lógica é circular e incluyente, favorecendo o coletivo e a cooperação de modo a preocupar-se com a coevolução de todos juntos e inter-relacionados.

Nesse sentido, para o mesmo autor, o desenvolvimento sustentável representaria uma armadilha do sistema imperante, pois ao mesmo tempo em que se encarrega de abordar os termos da ecologia (sustentabilidade), assume o ideal da economia (crescimento/ desenvolvimento), ocultando a pobreza que ele mesmo produz (BOFF, 2012, p. 47). Em

consequência, Boff (2012) afirma que o discurso da sustentabilidade, baseado no modelo padrão de desenvolvimento que se quer sustentável, é vazio e retórico.

Por outro lado, Cavalcanti (2012, p. 36) defende que “só pode haver desenvolvimento que seja sustentável”, pois, do contrário, não é sustentável e termina. Conforme o autor, esse tipo de desenvolvimento é o que perdura, sendo que quem o mantém é a natureza, o ecossistema, em primeiro lugar, pois dependemos dele para tudo. Em consequência, o desenvolvimento somente se sustentará se considerar as regras e os limites da natureza, ao mesmo tempo em que cuidar do bem-estar humano, dos valores da cultura e da realização plena da cidadania.

Considerando as dimensões econômica e ecológica, não é possível obter um crescimento econômico ilimitado, pois mais crescimento, necessariamente, significa maior consumo de recursos naturais. Ou seja, como o planeta é único, se a economia, parte integrante desse ecossistema global, utiliza mais recursos, evidentemente sobrarão menos meio ambiente. Assim, quanto maiores forem a produção econômica e a população, menores serão os recursos naturais disponíveis. No entanto, é possível ter um desenvolvimento ambientalmente sustentável, desde que se aceite que desenvolvimento (sinônimo de mudança, evolução, progresso) não é crescimento (compreendido como aumento ou expansão) (CAVALCANTI, 2012).

Para Krajnc e Glavic (2003), a produção e o consumo insustentável são os principais responsáveis pelos danos ambientais. Por esse motivo, salientam que alcançar o desenvolvimento sustentável implicará em alterações nos processos industriais, no consumo de recursos, na disposição e tratamento dos resíduos e nos produtos gerados.

De acordo com Hardi e Zdan (1997), o desenvolvimento sustentável não se caracteriza como um estado estático de harmonia. Para os autores, trata-se de um processo contínuo em evolução, através do qual os seres humanos adotam medidas que atendem as suas necessidades, sem comprometer a capacidade das próximas gerações de também o fazerem, conforme sugerido pela CMMAD (1991). Como consequência, as pessoas devem levar em consideração uma visão de longo prazo, assim como reconhecer sua posição no ecossistema, ou seja, o desenvolvimento sustentável nos leva a enxergar o mundo a partir de uma nova perspectiva. Por isso, entendem que a busca pelo desenvolvimento sustentável é uma escolha

social (dos cidadãos, das famílias, das comunidades, das organizações e do governo) (HARDI; ZDAN, 1997).

Daly (2002) afirma que, para o desenvolvimento ser sustentável, é necessária a manutenção da utilidade, ou seja, a utilidade das futuras gerações deve ser pelo menos igual à utilidade das gerações presentes. O rendimento físico também deve ser sustentado, compreendido como o fluxo físico entrópico das fontes de recursos naturais através da economia, retornando após para a natureza novamente, ou seja, deve ser mantida a capacidade de sustentação dos ecossistemas e do capital natural.

De forma complementar, Daly e Costanza (1992) afirmam que o desenvolvimento sustentável deve considerar a suficiência e a eficiência dos recursos naturais e não pode evitar a limitação da escala física, pois, para alcançar a sustentabilidade, é primordial limitar a escala humana a capacidade de carga do capital natural. Além disso, o progresso tecnológico deve garantir a melhor eficiência no uso dos recursos; as taxas de utilização de recursos renováveis não devem exceder as taxas de regeneração; as emissões de resíduos não podem ser maiores que a capacidade de assimilação renovável do meio ambiente; e, a taxa de exploração dos recursos não renováveis deve ser igual à taxa de criação de substitutos renováveis.

À vista disso, segundo Bell e Morse (2003), o conceito de sustentabilidade é usado como sinônimo de desenvolvimento sustentável. Para os autores, o conceito de desenvolvimento sustentável é formado por duas expressões: a noção de desenvolvimento (para fazer melhor) e a noção de sustentabilidade (para manter). Esta é, geralmente, associada a outras atividades humanas como a agricultura, a gestão de recursos naturais, a prestação de cuidados de saúde, entre outras, que também são elementos do desenvolvimento sustentável, baseados no mesmo princípio subjacente de não comprometer o futuro.

Para Veiga (2011), “sustentabilidade trata antes de tudo de um novo valor”, cuja legitimação ocorreu na Conferência da ONU de 1992, também chamada de Cúpula da Terra. Ao final da conferência, concluiu-se que o padrão de consumo e produção adotado, principalmente nos países industrializados, é insustentável, sendo o principal motivo do deterioramento contínuo do meio ambiente global (VELEVA; ELLENBECKER, 2001). Em consequência, foram elaborados diversos documentos, entre os quais destaca-se a Agenda 21: Programa de Ação Global, para regulamentar o processo de desenvolvimento com base nos

princípios da sustentabilidade, buscando resolver contradições existentes entre meio ambiente e desenvolvimento (LEFF, 2001).

Boff (2012) entende a sustentabilidade como um modo de ser e viver, que leva o Homem a respeitar as limitações de cada bioma às necessidades das gerações atuais e futuras. Segundo o autor, sustentabilidade significa

o conjunto de processos e ações que se destinam a manter a vitalidade e a integridade da Mãe Terra, a preservação dos ecossistemas com todos os elementos físicos, químicos e ecológicos que possibilitem a existência e a reprodução da vida, o atendimento das necessidades da presente e das futuras gerações, e a continuidade, a expansão e a realização das potencialidades da civilização humana em suas várias expressões (BOFF, 2012, p. 14).

Isso deve ser respeitado em todos os espaços - local, regional, nacional e global -, pois não há como garantir a sustentabilidade em determinadas regiões exclusivamente. No entanto, Boff (2012) ainda comenta que o conceito transformou-se em um modismo, sendo usado intensamente, sem que o seu significado seja esclarecido ou criticamente definido.

Nesse sentido, Leff (2001) afirma que a sustentabilidade estaria indicando, assim, a busca por um crescimento sustentado através de mecanismos de mercado, sem, no entanto, justificar sua capacidade de internalizar as condições ecológicas e sociais desse processo; assim como, a capacidade de medir e valorizar os diversos processos que constituem o ambiente (tempos ecológicos de produtividade e regeneração da natureza, valores culturais e humanos, critérios qualitativos que definem qualidade de vida) no mercado.

Neste processo, a noção de sustentabilidade foi sendo divulgada e vulgarizada até fazer parte do discurso oficial e da linguagem comum. Porém, além do mimetismo discursivo que o uso retórico do conceito gerou, não definiu um sentido teórico e prático capaz de unificar as vias de transição para a sustentabilidade (LEFF, 2001, p. 21).

Uma sociedade sustentável deve estar atenta às mudanças que ocorrem constantemente nos seus ambientes, suas culturas, valores e tecnologias e deve saber se adaptar às novas realidades (BOSSEL, 1999). A sociedade, ao mover-se em direção à sustentabilidade, deve fundamentar-se em valores como a justiça, a moderação, a solidariedade e o respeito ao meio ambiente e seus limites, ao invés de basear-se em valores materialistas e egocêntricos predominantes no atual sistema econômico e da sociedade de consumo. Assim, a sustentabilidade também é considerada um desafio ético, devendo ser abordada em diferentes níveis: pessoas, instituições, governo, setor privado e sociedade civil de forma em geral (DAHL, 2012).

Para tanto, faz-se necessária uma combinação viável entre economia e ecologia, pois, embora as ciências naturais possam apresentar as condições necessárias para um mundo ser sustentável, cabe às ciências sociais o desenvolvimento de estratégias que possibilitem a transição rumo a este caminho (SACHS, 2009).

Além disso, a sustentabilidade deve ser entendida como um processo dinâmico, e não estático, cujos objetivos não podem ser únicos e iguais para todos, mas sim, constantemente examinados e melhorados (CALLENS; TYTECA, 1999). Ela também não pode ser entendida como um fim, mas sim, como um meio para atingir objetivos das sociedades em termos de felicidade, prosperidade ou realizações. Esses objetivos, por sua vez, podem ser definidos de maneiras distintas entre culturas particulares, sociedades ou tradições espirituais (DAHL, 2012).

Hardi e Zdan (1997) entendem que, para alcançar o progresso em direção à sustentabilidade, é necessária a manutenção, bem como a melhoria do ecossistema e do bem-estar humano, sem prejudicar um em relação ao outro, uma vez que a sustentabilidade expressa a interdependência entre as pessoas e o mundo que as rodeia. Os autores ainda complementam, afirmando que esse progresso depende de uma escolha social dos indivíduos, famílias, comunidades, organizações, governos, todos responsáveis pelas tomadas de decisão.

Assim, embora a literatura apresente diferentes conceitos e interpretações sobre o significado da sustentabilidade, a ideia comum que prevalece é que se deve buscar um equilíbrio entre as ações humanas e a preservação do meio ambiente. Como os processos de interação entre os agentes são dinâmicos, a sustentabilidade, por si só, jamais poderá ser atingida, contudo podem-se reconhecer as condições necessárias para a sustentabilidade. Em outras palavras, as sociedades precisam adotar padrões de vida que sejam compatíveis com os limites ambientais, de modo a garantir a qualidade de vida, a qualidade ambiental e o futuro da humanidade.

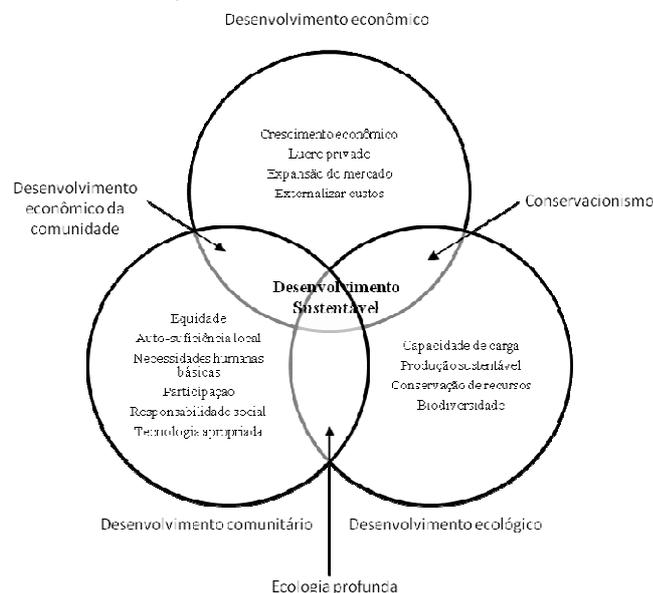
Para alcançar isso, não é possível levar em consideração uma única área do conhecimento, mas sim, devem-se considerar os diferentes elementos ou dimensões que interferem no alcance das condições para a sustentabilidade, ou seja, avaliar a realidade buscando atender as necessidades das ciências sociais, das ciências ambientais das ciências exatas e da terra, entre outros.

## 2.2 Dimensões da Sustentabilidade

Até a década de 1970, segundo Gavrilesco (2004), a sustentabilidade era considerada em função de uma variável unidimensional, ou seja, era vinculada ao lucro necessário para a sobrevivência de uma empresa. No entanto, nas décadas seguintes foram adicionadas as preocupações ambientais e sociais.

Em 1990, o inglês John Elkington, fundador da organização não governamental (ONG) *SustainAbility*, defendeu que a sustentabilidade somente seria alcançada caso fossem atendidas três dimensões: a econômica, a ambiental e a social (também associadas às Pessoas, ao Planeta e ao Lucro – *People, Planet and Profit*). Assim, criou a expressão *Triple Bottom Line* (também conhecida como o tripé da sustentabilidade) para indicar os três pilares que deveriam nortear a gestão empresarial para alcançar as três dimensões da sustentabilidade (FIGURA 01) (ELKINGTON, 2012).

Figura 01 – Tripé da sustentabilidade proposto por Elkington e as interrelações entre as dimensões ambiental, econômica e social



Fonte: Adaptado pela autora de Bell e Morse (2003, p. 4)

O pilar econômico (*Profit*) em uma empresa é o lucro, representado pelos ganhos que ela obtém e apurado pela contabilidade. No entanto, o desafio de uma empresa economicamente sustentável é calcular o seu real capital econômico. Para a economia tradicional, o fator de produção capital era representado pelo capital físico (incluindo

maquinários e a fábrica) e o capital financeiro. Ao longo do tempo, esse conceito foi ampliado incluindo-se ainda o capital humano, como uma medida de experiência dos indivíduos que atuam na organização, e o capital intelectual. Porém, as empresas que buscam uma lucratividade sustentável deverão ainda encontrar mecanismos para apurar também o capital natural e o capital social (ELKINGTON, 2012).

A apuração do capital natural é a base do pilar ambiental (*Planet*). O capital natural pode ser dividido em: capital natural crítico, que abrange o capital essencial para a manutenção da vida e da integridade dos ecossistemas; e capital natural renovável, recuperável ou substituível. Assim, “o interesse sobre o pilar ecológico das empresas é como a capacidade de suporte da maioria dos ecossistemas varia em relação ao número – e comportamento – dos atores econômicos que operam neles”, sendo que esses podem variar com o tempo e espaço (ELKINGTON, 2012, p. 118).

O pilar social (*People*) preocupa-se com o capital social, que considera o capital humano a partir das condições de saúde da sociedade de maneira ampla, das habilidades, da educação e do potencial de criação de riqueza (ELKINGTON, 2012).

Almeida (2007) ressalta que o desenvolvimento sustentável considera os fatos a partir de uma ótica transversal e não fragmentada, já que na natureza todos os processos são integrados. Para tanto, é necessário considerar uma visão ampla e adequada da realidade, tendo como referência as três dimensões em seu conjunto, sem predominância de uma dimensão sobre as outras.

No entanto, conforme Boff (2012), enquanto Elkington descreve a sustentabilidade a partir desse tripé, outros autores propõem a formulação de uma natureza mais operacional, destacando a relação entre: poder de estado (política), setor produtivo (empresariado) e sociedade civil (consumidores da sociedade em geral).

Para Nascimento (2012), seria fundamental ainda considerar, por exemplo, a dimensão do poder, visto que as mudanças nos padrões de produção, consumo, distribuição de riquezas, igualdade de oportunidades não estão distantes das estruturas e decisões políticas. Outra dimensão a ser considerada é a cultural, pois uma mudança no padrão de consumo e no estilo de vida deverá ser acompanhada, necessariamente, por mudanças de valores e comportamentos. Por isso, sugere que a sustentabilidade seja considerada a partir das cinco dimensões, e não apenas das três (NASCIMENTO, 2012).

De acordo com Sachs (1993), o planejamento do desenvolvimento de uma sociedade sustentável, que visa preservar o meio ambiente, a diversidade cultural e a satisfação das necessidades humanas, mas sem renunciar ao crescimento econômico, também deve considerar, simultaneamente, cinco dimensões específicas de sustentabilidade: a) a social, cujo objetivo é garantir uma maior equidade na distribuição de renda e de bens para a sociedade, reduzindo a diferença entre os padrões de vida dos ricos e dos pobres; b) a econômica, obtida através da alocação e do gerenciamento mais eficiente dos recursos, assim como de investimentos contínuos por parte do setor público e privado, e devendo ser avaliada em termos macrossociais e não microeconômicos dentro do contexto empresarial; c) a ecológica, que pode ser melhorada em função da ampliação da capacidade de carga do planeta, intensificando o potencial dos diversos recursos dos ecossistemas, da limitação do consumo de combustíveis fósseis ou outros recursos não renováveis, da redução da geração de resíduos e poluição, da intensificação de pesquisas em tecnologias que visem o uso mais eficiente dos recursos, entre outros; d) a espacial, a qual prevê uma configuração rural-urbana mais equilibrada, assim como uma melhor distribuição territorial dos assentamentos urbanos; e, e) a cultural, cujo objetivo é encontrar raízes endógenas para os processos de modernização e integração dos sistemas agrícolas, assim como, de soluções específicas para o local, o ecossistema, a cultura e a área.

Em outra publicação, Sachs (2009) ainda avalia que a abordagem fundamentada na harmonização de objetivos sociais, ambientais e econômicos, inicialmente denominada de ecodesenvolvimento e mais tarde substituída pela expressão desenvolvimento sustentável, não se alterou desde o encontro de Estocolmo até a conferência do Rio de Janeiro, recomendando a utilização de oito dimensões na busca da sustentabilidade, a saber: a) a social, que visa o alcance de um patamar razoável de homogeneidade social; b) a cultural, que prevê o equilíbrio entre o respeito às tradições e as inovações e a capacidade de autonomia para elaboração de um projeto nacional integrado e endógeno; c) a ecológica, que visa a preservação do capital natural e a limitação do uso de recursos não renováveis; d) a ambiental, através do respeito da capacidade de autodepuração dos ecossistemas naturais; e) a territorial, que estabelece um equilíbrio entre as configurações urbanas e rurais, a melhoria do ambiente urbano, a superação das disparidades inter-regionais e a conservação da biodiversidade pelo ecodesenvolvimento; f) a econômica: obtida com desenvolvimento econômico intersetorial equilibrado, segurança alimentar, capacidade de modernização contínua dos instrumentos de produção, razoável nível de autonomia na pesquisa científica e tecnológica, inserção soberana

na economia internacional; g) a política (nacional), obtida através da democracia e da capacidade do Estado em implementar o projeto nacional, em parceria com todos os empreendedores; e ainda, h) a política (internacional), através da garantia da paz e promoção da cooperação internacional e do princípio de igualdade entre as regiões, do controle institucional efetivo do sistema internacional financeiro e de negócios e do princípio da precaução na gestão do meio ambiente e dos recursos naturais, entre outros.

Ademais, Sachs (2009) ainda ressalta que um erro comum é considerar o termo sustentabilidade como um sinônimo de sustentabilidade ambiental, sem levar em consideração as outras dimensões. Para o autor, a sustentabilidade social vem em primeiro lugar, por tratar-se da própria finalidade do desenvolvimento, além de considerar que é mais provável que ocorra um colapso social antes de uma catástrofe ambiental; em segundo lugar, deveria vir a sustentabilidade cultural; em sequência, a sustentabilidade ambiental, a qual, por sua vez, interfere na distribuição territorial equilibrada de assentamentos humanos e atividades. Já a sustentabilidade econômica aparece como uma necessidade, mas sem ser condição prévia para as demais anteriores, visto que um problema econômico também é um problema de transtorno social, dificultando a sustentabilidade ambiental. Também é fundamental a sustentabilidade política para a gestão do processo de reconciliação do desenvolvimento com a conservação da biodiversidade, enquanto que a sustentabilidade do sistema internacional garante a manutenção da paz e da conservação do patrimônio comum da humanidade.

Boff (2012), considerando uma visão mais holística do ser humano, sugere o acréscimo das dimensões psicológica e espiritual. Bossel (1999) destaca que o planeta caracteriza-se como um sistema complexo formado por uma multiplicidade de subsistemas que interagem de diversas maneiras, assim como são dependentes uns dos outros, estando em constante adaptação. Por esse motivo, entende que o desenvolvimento sustentável deve abordar as dimensões ambiental, econômica, tecnológica, social, política e psicológica.

Em suma, para mover-se em direção às condições de sustentabilidade, é necessário compreender a realidade a partir do todo, e não a partir de fatos fragmentados, ou seja, devem-se levar em consideração diferentes dimensões, as quais podem variar de acordo com os objetivos que se deseja alcançar. Constatou-se que entre os autores existem diferentes proposições: enquanto para Elkington (2012), a sustentabilidade é atendida quando se consideram três dimensões (ambiental, social e econômica), outros autores propõem o uso de mais, como por exemplo, Sachs (2009), que recomenda a utilização de oito dimensões para o

alcance das condições de sustentabilidade.

### **2.3 Indicadores de Sustentabilidade**

Para alcançar as condições de sustentabilidade, faz-se necessário o desenvolvimento de diversas ações. Entre elas está o desenvolvimento de indicadores, que indiquem as condições de sustentabilidade em que se encontram os diferentes segmentos da sociedade e que permitam o seu acompanhamento pela busca de condições mais sustentáveis.

O termo indicador tem origem na palavra *indicare*, do latim, que significa descobrir, divulgar, apontar, anunciar, dar conhecimento ao público, estimar ou colocar um preço sobre. Os indicadores podem divulgar ou informar sobre o desenvolvimento para atendimento de uma determinada meta, como por exemplo, o desenvolvimento sustentável. Além disso, um indicador fornece uma pista sobre algum fato de maior relevância ou contribui para identificação de uma tendência ou fenômeno (HAMMOND et al., 1995).

Em comparação com outros tipos de indicadores (de saúde, tempo, economia, entre outros), o uso de indicadores de sustentabilidade é relativamente novo, porém, em grande número, propostas são apresentadas. Esses indicadores buscam avaliar diferentes aspectos associados às dimensões econômica, social, ambiental, entre outras, podendo variar de acordo com o seu objetivo.

Segundo a United Nation (2007), os indicadores possuem várias funções. Eles contribuem na tomada de decisões, pois simplificam, clarificam e tornam a informação agregada mais acessível. Eles também introduzem o conhecimento científico na tomada de decisões e permitem medir o progresso no alcance de metas do desenvolvimento sustentável. Além disso, contribuem para a evolução de indicadores econômicos, sociais e ambientais, assim como, são úteis para comunicar ideias e valores.

Hammond et al. (1995) entendem que os indicadores possuem duas características básicas: quantificam informações para facilitar sua compreensão e simplificam as informações sobre fenômenos complexos com o intuito de melhorar a comunicação. Para os autores, os indicadores simbolizam um modelo empírico da realidade, por isso devem ser analiticamente bons e seguir uma metodologia padrão de medição.

Os indicadores auxiliam no processo de seleção da melhor alternativa, entre um conjunto de possibilidades a serem adotadas (CALLENS; TYTECA, 1999). Azapagic e Perdan (2000) entendem que o principal objetivo dos indicadores de desenvolvimento sustentável é fornecer informações para os tomadores de decisão sobre o nível global de sustentabilidade de um sistema, de modo a permitir a elaboração de estratégias de desenvolvimento mais sustentável. No entanto, em virtude do elevado número de indicadores e decisores que podem estar envolvidos no processo de tomada de decisão, a identificação das melhores opções em uma determinada situação torna-se uma tarefa nada simples.

Como os indicadores auxiliam na identificação das causas de insustentabilidade, eles fornecem aos governos ferramentas apropriadas para a adoção de regulamentos e incentivos que contribuem para a sustentabilidade global (CALLENS; TYTECA, 1999).

Para Bellen (2004), os indicadores de sustentabilidade buscam retratar a realidade de uma forma científica e, dessa forma, são importantes para o processo de gestão e formulação de políticas.

Outro conceito é sugerido por Meadows (1998), para quem os indicadores são uma parte necessária do fluxo de informações utilizadas para compreender o mundo, tomar decisões e planejar ações. Para a autora, eles podem ser divididos em indicadores objetivos e subjetivos. Os indicadores objetivos podem ser medidos ou detectados por instrumentos e indicam quantidades, enquanto os indicadores subjetivos são decorrentes de percepções e sentidos dos indivíduos, pois indicam qualidades do sistema e nem sempre poderão ser facilmente quantificados.

Gallopín (1996) afirma que os indicadores informam sobre o estado e/ou a tendência de um atributo em um determinado sistema, contribuindo para a tomada de decisão, a partir da interpretação das variáveis. Para o autor, os indicadores são componentes da avaliação do progresso em relação a um desenvolvimento dito sustentável e devem ser utilizados em função da sua disponibilidade e custo de obtenção. O autor ainda salienta que na literatura é possível encontrar diversos significados para o conceito (tais como: variável, parâmetro, medida estatística, um valor, uma medição, um índice, entre outros), o que gera confusões e contradições, devido ao conceito ser utilizado em diferentes disciplinas.

Os indicadores fornecem informações importantes, por isso, um conjunto de indicadores sobre determinado sistema deve, em primeiro lugar, fornecer informações

caracterizando o estado atual e a viabilidade desse sistema correspondente e, em segundo lugar, fornecer informações suficientes sobre a contribuição do sistema para o desempenho de outros sistemas que dependem dele. Em outras palavras, os indicadores devem fornecer informações essenciais sobre o estado presente do sistema em si e sobre sua posição em relação às metas individuais e sociais de outros sistemas que dele dependem (BOSSSEL, 1999).

Ragas et al. (1995) definem um indicador de sustentabilidade como uma ferramenta de medição ambiental, que compara a situação em um determinado momento e a situação desejada (aonde se pretende chegar), mostrando em que medida os objetivos da sustentabilidade estão sendo atendidos. Nesse sentido, são ferramentas fundamentais no processo de identificação e reconhecimento de problemas, de desenvolvimento de políticas, de sua implementação e avaliação (GUIMARÃES; FEICHAS, 2009). Eles requerem uma visão sistêmica com indicadores multidimensionais que demonstrem as inter-relações existentes entre eles (CALLADO; FENSTERSEIFER, 2009). Podem contribuir nos processos de educação, comunicação e mobilização das partes interessadas, assim como na análise e avaliação da sustentabilidade do desenvolvimento (MALHEIROS; COUTINHO; PHILIPPI JR, 2012).

Apesar da maioria dos indicadores de sustentabilidade ser quantitativa, Gallopin (1996) salienta que os indicadores qualitativos são preferíveis quando a informação não está disponível, o atributo não é quantificável ou ainda quando o custo for determinante.

Conforme Dahl (2012), é fundamental encontrar medidas que indiquem o progresso em direção à sustentabilidade. Contudo, os indicadores disponíveis, por si sós, não definem, nem asseguram a sustentabilidade. Eles caracterizam-se como uma ferramenta que pode influenciar na tomada de decisão. Um indicador pode contribuir para tornar um determinado problema visível. Além disso, um conjunto de indicadores contribui para demonstrar o progresso em direção ao alcance de metas de sustentabilidade individuais.

Para que indicadores sejam instrumentos de um processo de mudança rumo ao conceito de desenvolvimento sustentável, eles devem congregam características que permitam: mensurar diferentes dimensões de forma a apreender a complexidade dos fenômenos sociais; possibilitar a participação da sociedade no processo de definição do desenvolvimento; comunicar tendências, subsidiando o processo de tomada de decisões; e relacionar variáveis, já que a realidade não é linear nem unidimensional (GUIMARÃES; FEICHAS, 2009, p. 310).

Contudo, os indicadores são imagens parciais de uma determinada realidade,

construídos a partir de modelos incertos e imperfeitos. Eles buscam compreender o modo como o mundo funciona, mas, ao mesmo tempo, nunca demonstrarão a realidade completa e perfeita, ou seja, jamais irão expressar tudo o que está acontecendo. Em consequência, a definição de indicadores é uma tarefa difícil, pois sua seleção e uso podem estar cercados por armadilhas, assim como podem indicar diferentes mensagens para diferentes pessoas. A tomada de decisão será realizada em condições de incerteza, porém os indicadores adequados podem auxiliar a reduzi-las (MEADOWS, 1998).

Além disso, segundo Veiga (2011, p. 10), “nenhum indicador, por melhor que possa ser, vai conseguir revelar, simultaneamente, o grau de sustentabilidade do processo socioeconômico e o grau de qualidade de vida dele decorrente”. Bossel (1999) também afirma que um único indicador nunca pode contar toda a história.

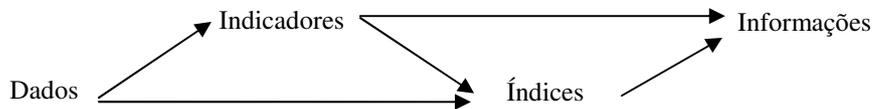
Assim, Malheiros, Coutinho e Philippi Jr (2012) consideram a definição metodológica a ser seguida para a construção de indicadores uma etapa decisiva. Para os autores, a obtenção de bons indicadores de sustentabilidade depende da criação de sistemas de monitoramento que permitam uma coleta de dados de qualidade, com certa regularidade e acesso pelos diferentes atores envolvidos na tomada de decisão. Por isso, devem ser levados em consideração fatores como: impacto, abrangência, custos, tempo e continuidade do projeto, entre outros. Além disso, as variáveis que servirão de apoio à informação devem ser definidas a partir do que se espera desse indicador.

Para Meadows (1998), os indicadores surgem de valores, pois mensuram variáveis que são motivo de preocupação, ao mesmo tempo em que também criam valores, pois o resultado pode tornar-se motivo de preocupação e interferir na tomada de decisão.

Segnestam (2002) afirma que os dados são o componente básico para o trabalho com indicadores, no entanto, de forma isolada não podem ser utilizados para interpretar mudanças na sociedade, no meio ambiente ou na economia. Essa função cabe aos indicadores (FIGURA 02), os quais são oriundos dos dados e, por isso, são definidos como uma ferramenta analítica para o estudo de mudanças na sociedade, pois: a) fornecem informações sobre as condições e tendências do desenvolvimento sustentável, garantindo uma base para a avaliação; b) essa avaliação, por sua vez, contribui para processos de formulação de políticas; e, c) a apresentação de diversos dados em um único número facilita a interpretação de estatísticas complexas e a sua comunicação a diferentes grupos da sociedade (especializados ou não). Por

fim, a combinação de indicadores, segundo a autora, forma índices que podem ser utilizados em análises mais agregadas, como nos âmbitos regional e nacional.

Figura 02 – Representação dos dados até as informações



Fonte: Adaptado pela autora de Segnestam (2002, p. 3)

Os indicadores, geralmente quantitativos, são medidas simples que retratam uma determinada situação de desenvolvimento econômico, social e/ou ambiental (NESS et al., 2007; JOUNG et al., 2012). Quando os indicadores são agregados, de alguma forma, obtém-se um índice. Na literatura é possível encontrar diversos modelos de agregação de valores, conforme demonstrado nos trabalhos de Ragas et al. (1995), Gallopin (1996), Kranjc e Glavic (2003), Henri e Journeault (2008), Chen et al. (2014), entre outros. Os indicadores e índices contribuem para o acompanhamento de tendências de sustentabilidade no longo prazo (NESS et al., 2007).

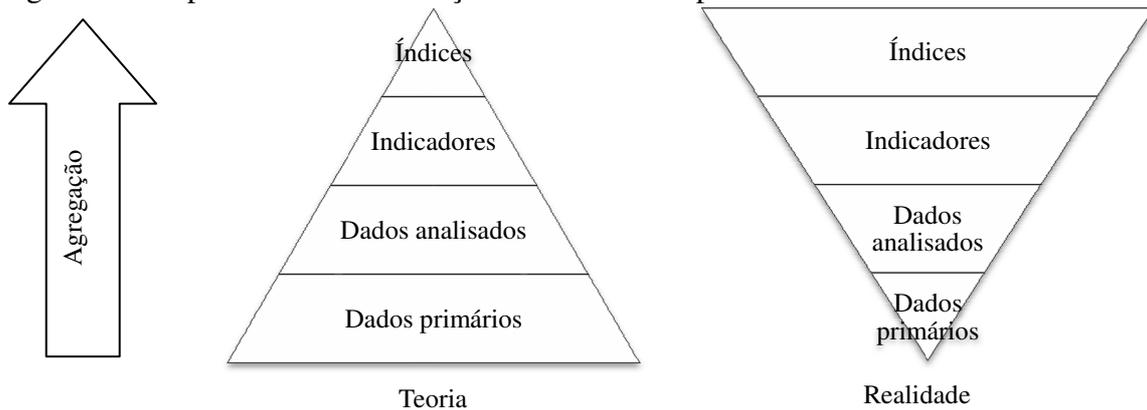
Para Ragas et al. (1995), um índice de sustentabilidade que integre os valores dos indicadores contribui para a comparação do grau de diferentes sistemas de produção de uma maneira simplificada, já que é expresso em apenas um número. Para o cálculo do índice de sustentabilidade, os autores sugerem que os valores dos indicadores sejam multiplicados por um fator de ponderação, existindo diversas formas de se fazer isso, de modo a possibilitar o seu resumo e a obtenção de um valor médio. A desvantagem desse procedimento é que a agregação pode resultar na perda de informações durante o processo de integração. Assim, apesar dos índices agregados serem uma melhoria, eles podem esconder deficiências ou serem mal interpretados (BOSSSEL, 1999; OECD, 2008).

Da mesma forma, Ebert e Welsch (2004) salientam que, ao construir um índice, é necessário cuidar com os dados brutos apresentados em escalas de intervalo ou de razão diferentes, uma vez que uma mudança de escala não pode interferir na interpretação e análise dos resultados. Nesse sentido, sugerem que, inicialmente, seria necessário transformar todas as unidades numa unidade normalizada e, em seguida, agregar os resultados. Essa normalização geralmente ocorre através do estabelecimento de um intervalo de 0 (zero) a 1 (um) ou através de uma padronização, quando os valores dos indicadores são subtraídos da média das observações e divididos pelo desvio padrão (EBERT; WELSCH, 2004).

Nardo et al. (2005) afirmam que existe uma série de métodos de normalização disponíveis (classificação, padronização, re-escalamento, escalas categóricas, indicadores conjunturais, equilíbrio de opiniões, entre outros), e que a escolha do método deve se dar em função do tipo de dados, ou seja, o método de normalização deve ter em conta as propriedades de dados e os objetivos do índice. Além disso, diferentes pesos ainda podem ser atribuídos aos indicadores, quando se desejar tornar mais explícitos alguns resultados.

Segnestam (2002) ainda destaca que, apesar da teoria pressupor a existência de uma ampla base de dados que permitem a elaboração de indicadores e índices de qualidade, conforme ilustrado pela pirâmide de informações (FIGURA 03), na prática, devido à dificuldade de obtenção de dados primários, tem-se elaborado diversos índices e indicadores a partir de uma mesma base de dados. Essa prática é representada pela apresentação da pirâmide de forma invertida.

Figura 03 – A pirâmide de informações na teoria e na prática



Fonte: Adaptado pela autora de Segnestam (2002, p. 17)

A OECD (2003) define um indicador como um parâmetro (entendido como algo que é medido ou observado) ou um valor derivado de parâmetros que informam sobre a situação de um fenômeno, ambiente ou área. Por outro lado, um conjunto de parâmetros ou indicadores agregados ou ponderados é denominado de índice. Para Joung et al. (2012), um conjunto de indicadores, através da combinação de indicadores ambientais, econômicas e sociais, garantem uma visão holística<sup>5</sup> da sustentabilidade, pois avaliam a realidade a partir de uma escala maior do que os indicadores individuais.

<sup>5</sup> A palavra holística tem sua origem na palavra holismo que significa “compreensão da realidade em totalidades integradas onde cada elemento de um campo considerado reflete e contém todas as dimensões do campo, conforme a indicação de um holograma, evidenciando que a parte está no todo, assim como o todo está na parte,

Contudo, indicadores, ou índices, não são o fim em si mesmos, eles são o meio para um fim, que consiste em uma melhor tomada de decisão, para tanto, é necessário analisar esses dados, indicadores ou índices para obter a informação desejada. A função de um indicador é indicar uma modificação e não, necessariamente, explicar todas as razões responsáveis por essa mudança (SEGNESTAM, 2002).

No capítulo 40 da Agenda 21, que foi o plano de ação desenvolvido durante a CNUMAD, consta a necessidade de países e organizações internacionais, governamentais e não governamentais desenvolverem indicadores de sustentabilidade que permitam essa avaliação e que possam fornecer uma base sólida para os processos de tomada de decisão relacionados ao desenvolvimento sustentável (BRASIL, 1992; UN, 2007; AZAPAGIC; PERDAN, 2000).

Desde então, diversas são as iniciativas de organizações e pesquisadores para a construção e desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade, mas, devido às especificidades dos diferentes setores e organizações, nem sempre o uso de metodologias padronizadas, que possibilitem a comparação entre as instituições e que definam as alternativas mais sustentáveis, são eficientes.

Uma dessas iniciativas foi desenvolvida pelo Instituto Internacional para o Desenvolvimento Sustentável (*International Institute for Sustainable Development - IISD*), com o apoio da Fundação Rockefeller, reunindo um grupo de pesquisadores em novembro de 1996, em Bellagio, na Itália, com o objetivo de contribuir com o desenvolvimento de indicadores. Eles desenvolveram princípios gerais que podem ser utilizados como diretrizes para o desenvolvimento de um processo de avaliação e identificação de indicadores, sendo estes conhecidos como Princípios de Bellagio para Avaliação (QUADRO 01) e podem ser usados por grupos comunitários, organizações não governamentais, corporações, governo e instituições internacionais (HARDI; ZDAN, 1997). São orientações gerais para a realização e melhoramento da avaliação dos progressos em direção ao desenvolvimento sustentável. Eles auxiliam na escolha de indicadores, medição do progresso, interpretação e comunicação de resultados, podendo tanto ser utilizados para definir a situação inicial, como nos processos de

---

numa inter-relação constante, dinâmica e paradoxal” (MICHAELIS, 2015, texto digital). O precursor do paradigma holístico atual foi Jan Smuts, que em 1926 publicou o livro *Holism and Evolution*. “O paradigma holístico (relembrando, do grego *Holos*: Totalidade) representa uma revolução científica e epistemológica que emerge como resposta à perigosa e alienante tendência fragmentária e reducionista do antigo paradigma” [paradigma cartesiano-newtoniano] (CREMA, 1989, p. 59).

acompanhamento (HARDI; ZDAN, 1997).

Quadro 01 – Princípios de Bellagio para avaliação do progresso em direção ao desenvolvimento sustentável

| Princípios                   | Avaliação do progresso em relação ao desenvolvimento sustentável deve:   |
|------------------------------|--|
| 1. Visão e Objetivos         | - Ser guiado por uma visão clara sobre o desenvolvimento sustentável e por objetivos que definam essa visão;   |
| 2. Perspectiva holística     | - Incluir uma revisão de todo o sistema, bem como de suas partes;<br>- Considerar os subsistemas de bem estar social, ecológico e econômico, seu estado, bem como a direção e a taxa de mudança daquele estado, das partes e de seu componente, e a interação entre as partes;<br>- Considerar as consequências positivas e negativas da atividade humana, de forma que reflita os custos e benefícios para os sistemas humano e ecológico, em termos monetários e não monetários;   |
| 3. Elementos essenciais      | - Considerar equidade e disparidade entre a população atual e entre as gerações presente e futura, lidando com tais interesses como o uso de recursos, consumo excessivo e pobreza, direitos humanos e acesso aos serviços, conforme apropriado;<br>- Considerar as condições ecológicas das quais a vida depende;<br>- Considerar o desenvolvimento econômico e outro, atividades não comerciais que contribuem para o bem estar humano/social;   |
| 4. Escopo adequado           | - Adotar um horizonte de tempo longo o suficiente para capturar as escalas de tempo humanas e do ecossistema que atendam às necessidades das futuras gerações assim como das gerações atuais para tomada de decisão de curto prazo;<br>- definir um espaço de estudo longo suficiente para incluir não somente impactos sobre as pessoas e os ecossistemas locais, mas também de longa distância;<br>- trabalhar nas condições atuais e históricas para antecipar condições futuras – para onde queremos ir, para onde poderíamos ir;  |
| 5. Focu prático              | - um conjunto explícito de categorias ou um quadro organizacional que liga visão e objetivos aos indicadores e critérios de avaliação;<br>- um número limitado de questões-chave para análise;<br>- um número limitado de indicadores ou combinações de indicadores para fornecer um indício mais evidente de progresso;<br>- medição padronizada onde for possível permitir comparação;<br>- comparar valores de indicadores aos objetivos, valores de referência, variações, limites, ou direção de tendências, conforme apropriado; |
| 6. Abertura                  | - tornar os métodos e dados que são usados acessíveis a todos;<br>- tornar explícitos todos os julgamentos, suposições e incertezas em dados e interpretações;   |
| 7. Comunicação eficaz        | - ser desenvolvida para atender às necessidades do público e dos usuários;<br>- extrair a partir dos indicadores, e outras ferramentas, que são incentivadores e servem para engajar os tomadores de decisão;<br>- objetivar, desde o início, simplicidade na estrutura e uso de linguagem clara e simples;  |
| 8. Participação ampla        | - obter larga representação de grupos sociais e técnicos, profissionais fundamentais, incluindo jovens, mulheres e indígenas – para assegurar reconhecimento de diversidade e valores de mudança;<br>- assegurar a participação de tomadores de decisão para obter uma junção firme das políticas adotadas e ação de resultados;   |
| 9. Avaliação contínua        | - desenvolver uma capacidade para mensuração repetida para determinar tendências;<br>- ser interativo, adaptável, e sensível a mudanças e incertezas porque os sistemas são complexos e estão em constante mudança;<br>- ajustar objetivos, quadros e indicadores à medida que novos conhecimentos são obtidos;<br>- promover o desenvolvimento do aprendizado coletivo e a resposta à tomada de decisão;  |
| 10. Capacidade institucional | - claramente designar responsabilidade e fornecer suporte contínuo no processo de tomada de decisão;<br>- fornecer capacidade institucional para levantamento de dados, manutenção e documentação;<br>- auxiliar no desenvolvimento da capacidade de avaliação local.  |

Fonte: Elaborado pela autora a partir de Hardi; Zdan, 1997, p. 2-4

O princípio 1 estabelece a necessidade de definição de uma visão de desenvolvimento sustentável e objetivos a serem alcançados, fundamentais para os processos de tomada de decisão. Os princípios 2, 3, 4 e 5 tratam sobre o conteúdo e os elementos essenciais da avaliação e da necessidade desta ser desenvolvida a partir de uma visão holística e um enfoque prático. Os princípios 6, 7 e 8 tratam de questões fundamentais em avaliações, como por exemplo, o acesso, a comunicação e a participação dos grupos de interesse. E, por fim, os princípios 9 e 10 enfocam a necessidade de realização de avaliações contínuas que contribuam nos processos de tomada de decisão (HARDI; ZDAN, 1997).

Hardi e Zdan (1997) afirmam que um quadro de referência que indique se houve ou não alterações, que auxilie no julgamento para identificar se estas foram boas ou ruins, e qual é a direção desejável a ser buscada é necessário, em qualquer tipo de avaliação desenvolvida com o objetivo de mensurar modificações.

Meadows (1998) destaca que a escolha dos indicadores é um ponto crítico para o desenvolvimento do sistema, pois as pessoas não podem responder a informações que elas não possuem. Ao mesmo tempo em que os indicadores são uma ferramenta importante para indicar o caminho a ser seguido, se eles forem pobres ou inadequados, podem causar falhas graves. A autora entende que o processo de definição de indicadores deve ser evolutivo, ou seja, caso algum indicador não seja adequado, deve ser substituído. Por esse motivo, quanto mais flexíveis (adaptáveis ou maleáveis) eles forem, mais rápido se encontrará bons indicadores de desenvolvimento sustentável.

Dessa forma, os indicadores devem: apresentar conteúdo e valores claros; gerar interesse; ser politicamente relevantes para todos os participantes do sistema; ser economicamente viáveis; ser suficientes; ser oportunos temporalmente; ser apropriados em escala; ser democráticos; ser suplementares; ser participativos; ser hierárquicos; possuir medida física; conduzir para a mudança, fornecendo informação em tempo para que se possa agir; e não devem pretender ser completos, podendo ser passíveis de discussão e de mudança (MEADOWS, 1998).

Para Bossel (1999), definir um conjunto de indicadores para uma comunidade, uma cidade, uma região, um país ou mesmo para o mundo requer que sejam considerados vários requisitos: a) serem úteis para recomendar políticas e decisões em todos os níveis da sociedade; b) representarem todas as preocupações importantes, levando em consideração a

interação de sistemas e seu ambiente; c) serem abrangentes e compactos, considerando todos os aspectos relevantes; d) sua definição deve ser de forma participativa entre os agentes envolvidos; e) serem definidos de forma clara, reproduzível, compreensível e prática, refletindo os interesses dos *stakeholders*<sup>6</sup>; e, f) refletirem a viabilidade e a sustentabilidade dos desenvolvimentos atuais, e possibilitarem a sua comparação com os caminhos de desenvolvimento alternativo (BOSSEL, 1999).

De acordo com Segnestam (2002), não existe um conjunto universal de indicadores que possa ser utilizado para todos os casos, mas, mesmo assim, um pequeno grupo de indicadores, se bem escolhido, pode ser mais eficaz. No entanto, para isso, é necessário seguir um conjunto de critérios adequados, entre os quais se destacam os seguintes: a) os indicadores devem ter relevância direta com os objetivos a serem atingidos; b) os indicadores devem ser importantes para os tomadores de decisão; c) os indicadores devem ser definidos de forma clara, de modo a evitar alguma confusão no seu desenvolvimento ou interpretação; d) os indicadores precisam ser práticos e realistas, além de considerarem o custo de coleta e desenvolvimento; e) os indicadores e as informações que fornecem precisam ser de alta qualidade e confiabilidade; f) os indicadores devem ser medidos nas escalas espacial e temporal adequadas. Entretanto, a autora ainda destaca que esses critérios podem modificar-se em virtude do assunto a ser analisado (SEGNESTAM, 2002).

A autora ainda sugere desenvolver dois conjuntos de indicadores: um de alarme e o outro de diagnóstico. Os de alarme são formados por um pequeno número de indicadores de baixo custo, para que o seu monitoramento seja constante e sirva de sinal de alerta para mudanças, permitindo que os tomadores de decisão possam reagir a tempo. Em contrapartida, os indicadores de diagnóstico garantem uma análise mais aprofundada e são utilizados quando os indicadores de alarme avisam sobre alguma mudança indesejada. Esse conjunto de indicadores garante o fornecimento de informações mais detalhadas sobre o problema e por isso, geralmente, é mais caro (SEGNESTAM, 2002).

Uma das vantagens do uso de indicadores é a simplificação de informações complexas através de sua apresentação visual, contribuindo para a sua análise e interpretação por não especialistas. Por outro lado, ter um indicador, por si só, não significa necessariamente que a

---

<sup>6</sup> *Stakeholders* pode ser traduzido como partes interessadas ou públicos de relacionamento (proprietários, clientes, funcionários, fornecedores, governos, acionistas, comunidade onde a empresa está inserida, entre outros), e constitui-se de um grupo ou indivíduos que têm interesse nas atividades ou decisões de uma organização (ALIGLERI; ALIGLERI; KRUGLIANSKAS, 2009).

população e as organizações estejam se empenhando em busca da sustentabilidade. Os indicadores são imagens técnicas da realidade. Por isso, segundo Bell e Morse (2003), os indicadores devem ser: específicos, demonstrando claramente os resultados; mensuráveis (quantitativos); utilizáveis (práticos); sensíveis, alterando-se facilmente na medida em que as circunstâncias mudam; disponíveis, de modo que a coleta de dados seja simples; e, devem apresentar uma boa relação custo-benefício, de modo que sua obtenção não implique em uma tarefa muito cara.

Assim, um quadro de indicadores pode ser desenvolvido de diferentes maneiras e direcionado para diferentes grupos de interesse (empresas, governos, países, entre outros), dependendo dos objetivos da avaliação. Para Segnestam (2002), os três modelos mais utilizados são: a) o baseado em projetos (quadro de impacto das entradas e saídas), sendo utilizado como monitoramento para avaliação de projetos cujo objetivo é melhorar o meio ambiente; b) o modelo Pressão-Estado-Resposta (PSR), desenvolvido pela OECD para análise de informações em nível nacional, regional e internacional; e, c) os modelos baseados em temas ambientais ou no desenvolvimento sustentável.

Já Hardi e Zdan (1997) afirmam que os principais modelos utilizados para a avaliação do alcance do desenvolvimento sustentável podem ser divididos em cinco: a) modelos com raízes na economia; b) modelos de pressão-estado-resposta; c) modelos de capital múltiplos; d) modelos que avaliam o tripé – ambiente, economia e sociedade; e, e) modelos que avaliam as relações entre seres humanos e o ecossistema. Enquanto os dois primeiros modelos visam realizar avaliações parciais, os três últimos fazem avaliações completas, buscando mensurar todos os fatores que influenciam o sistema (HARDI; ZDAN, 1997).

Azapagic e Perdan (2000) afirmam que os indicadores, ou um conjunto deles, direcionados para empresas são geralmente divididos em três diferentes tipos, de acordo com a análise: a) orientados para o produto, quando visam realizar a comparação entre diferentes produtos que possuem funções semelhantes; b) orientados para o processo, quando têm por objetivo comparar diferentes processos que compõem a produção de um mesmo produto ou avaliar o nível de sustentabilidade de um processo e analisar sua evolução ao longo do tempo; e, c) orientados para a empresa, quando se tem o objetivo de avaliar o desempenho das diferentes unidades dentro da empresa ou comparar empresas ou setores de um mesmo segmento.

As iniciativas de construção de indicadores de sustentabilidade foram lideradas pela Comissão para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (CSD) que, durante a década de 1990, reuniu governos nacionais, instituições acadêmicas, organizações não governamentais, organizações do sistema das Nações Unidas e especialistas de todo o mundo. Desde então, diversas organizações têm proposto indicadores com a função de medir processos e divulgar informações para os agentes envolvidos, porém, em sua maioria, essas variáveis não se encontram integradas e ordenadas. Chen et al. (2014) também destacam que existe uma variedade de métodos e ferramentas que estão disponíveis para contribuir com o desenvolvimento de indicadores em diferentes níveis e dimensões.

No âmbito das empresas, a organização líder é a *Global Reporting Initiative* (GRI). Através da proposição do uso de relatórios de sustentabilidade corporativa, ela busca motivar as organizações a adotarem práticas mais sustentáveis e, assim, contribuir para o desenvolvimento sustentável. Esses relatórios auxiliam as organizações a estabelecer metas, medir o desempenho e gerir a mudança necessária para tornar suas atividades mais sustentáveis. Segundo a GRI (2013), um relatório de sustentabilidade tem a função de informar os impactos (sejam eles positivos ou negativos) causados pela organização sobre o meio ambiente, a sociedade e a economia.

Os relatórios de sustentabilidade da GRI também contribuem para a padronização das informações, pois a forma de divulgação e as métricas a serem utilizadas para a confecção dos relatórios seguem acordos internacionais, facilitando o acesso e a comparação entre diferentes organizações. Suas diretrizes são revisadas periodicamente, com o objetivo de tornar os relatórios de sustentabilidade mais eficazes. Em 2013 foi divulgada a quarta versão de relatórios, a qual apresenta um quadro global de indicadores, a partir de uma abordagem padronizada, garantindo uma maior transparência e consistência, e tornando as informações úteis para os mercados e para a sociedade. Os indicadores propostos estão divididos em três categorias - econômica, ambiental e social-, nas quais são avaliados 4, 12 e 30 aspectos diferentes, respectivamente (GRI, 2013).

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (*Organisation for Economic Co-Operation and Development* - OECD) também tem desenvolvido ações que visam promover a produção sustentável, através do desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade, medidas de desempenho e um software. Essas ações auxiliam na avaliação do desempenho de negócios para a melhoria dos processos de produção e produtos. Nesse

sentido, a OECD (2003) estabelece três critérios para seleção de indicadores ambientais. Esses indicadores devem: a) ter relevância política e utilidade para os usuários, de modo a transmitir uma imagem das condições ambientais de fácil interpretação e indicar as tendências ao longo do tempo; b) apresentar solidez analítica, ou seja, ser teoricamente bem fundamentados em termos técnicos e científicos e atender normas legais; e, c) ser mensuráveis, ou seja, os dados devem ser de qualidade e devem estar disponíveis.

O Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (*World Business Council for Sustainable Development - WBCSD*) também propôs um quadro para medir e avaliar o desempenho das empresas no alcance de metas do desenvolvimento sustentável a partir do conceito de ecoeficiência<sup>7</sup>, o qual estabelece que as empresas devam buscar adotar melhorias ambientais que gerem simultaneamente benefícios econômicos. Esse quadro auxilia os gestores na tomada de decisão sobre um produto ou negócio, através de indicadores específicos da atividade em análise e indicadores gerais, que podem ser adotadas em todas as atividades produtivas (VERFAILLIE; BIDWELL, 2000).

A norma internacional ISO 14031, ao contrário das anteriores que fornecem um quadro específico de indicadores, fornece recomendações para as empresas desenvolverem os seus próprios indicadores, que contribuam para a avaliação do desempenho ambiental. Ela serve como ferramenta de gestão para as organizações, propõe o uso de indicadores gerenciais, operacionais e de condições ambientais para a avaliação do seu desempenho ambiental, assim como, considera aspectos culturais e econômicos. Sua metodologia propõe o uso de indicadores para fornecer informações, comparando o desempenho ambiental, passado e presente, a partir do modelo gerencial PDCA [Planejar (*Plan*) – Fazer (*Do*) – Checar (*Check*) – Agir (*Act*)] (ABNT, 2004).

No entanto, apesar desses relatórios de sustentabilidade propostos serem desenvolvidos para as organizações de forma em geral, independentemente da sua dimensão, setor ou localização, nem sempre são úteis para micro e pequenas empresas em virtude do tipo e da quantidade de informações solicitadas. Por esse motivo, é possível observar o desenvolvimento de diversas iniciativas de proposições de indicadores para avaliar as

---

<sup>7</sup> Este conceito foi desenvolvido pelo WBCSD em 1992. “A ecoeficiência atinge-se através da oferta de bens e serviços a preços competitivos, que, por um lado, satisfaçam as necessidades humanas e contribuam para a qualidade de vida e, por outro, reduzam progressivamente o impacto ecológico e a intensidade de utilização de recursos ao longo do ciclo de vida, até atingirem um nível, que, pelo menos, respeite a capacidade de sustentação estimada para o planeta Terra. Em resumo, diz respeito à criação de mais valor com menos impacto” (WBCSD, 2000, p. 4).

condições de sustentabilidade dessas empresas. Ainda assim, as empresas de pequeno porte, em especial de manufaturas, têm sido desafiadas a escolher quais são os melhores indicadores para avaliar os seus processos e produtos, e a interpretar esses indicadores na sua tomada de decisão (CHEN et al., 2012; JOUNG et al., 2012).

Nesse sentido, Sikdar (2003) salienta que não há um consenso sobre a taxonomia razoável de métricas relacionadas à sustentabilidade, porém acha importante que o número de indicadores escolhidos seja reduzido e que sejam independentes uns dos outros.

Ragas et al. (1995) desenvolveram uma proposta metodológica para a construção de indicadores de sustentabilidade de sistemas de produção, buscando mensurar todas as formas de pressão ambiental durante o ciclo de vida de um produto. A proposta é desenvolvida a partir da abordagem *top-down* (de cima para baixo) que estabelece que a medição da sustentabilidade seja feita em relação a algum nível global, ou seja, a partir da definição do espaço ambiental, se estabelece um esquema de distribuição de seus componentes entre os sistemas de produção. Essa proposta de avaliação das condições ambientais é composta por 8 temas e 13 subtemas, sendo todas variáveis classificadas como quantitativas. Para a apresentação dos resultados (fictícios), os autores utilizaram uma ponderação de 1 a 5, sendo os dados apresentados em um gráfico de radar<sup>8</sup>.

Callens e Tyteca (1999), por outro lado, sugerem um conjunto de indicadores que permite a avaliação da participação das empresas no desenvolvimento sustentável a partir da abordagem *bottom-up*, que inicia a partir dos próprios sistemas de produção. Essa proposta visa comparar o desempenho de várias empresas ou plantas de um determinado segmento ou setor industrial em busca da sustentabilidade, a partir da técnica denominada análise envoltória de dados, identificando fatores que retardam esse objetivo e também as possibilidades de melhoria. No entanto, os autores destacam que a identificação desses fatores é um passo necessário, mas não suficiente para a sustentabilidade.

Além disso, os autores ainda afirmam que um indicador, dificilmente, irá apontar as condições suficientes para o desenvolvimento sustentável, visto que não existem valores de referência para indicar a partir de que momento poderia se declarar o alcance da sustentabilidade. Por isso, enfatizam que as empresas devem respeitar um conjunto de condições necessárias para serem sustentáveis, tais como: o uso eficiente de recursos, a

---

<sup>8</sup> Também chamado de gráfico de aranha ou de estrela devido seu formato, pois os pontos são estabelecidos a partir do centro em direção ao anel externo do gráfico.

redução dos poluentes gerados, a contribuição social das empresas para a geração de empregos, as condições de trabalhos e o respeito às futuras gerações quanto aos objetivos de longo prazo (CALLENES; TYTECA, 1999).

Porém, como não há valores de referências para essas condições, o modelo dos autores centrou-se em propor a comparação entre o desempenho das empresas, identificando os aspectos em que são mais ou menos eficientes e informando sobre os valores que devem ser minimizados ou maximizados. A proposta dos autores apresenta uma sugestão de indicadores de curto e longo prazo, divididos entre as dimensões ambiental, econômica e social, mas a lista não é exaustiva (CALLENES; TYTECA, 1999).

Para medir o nível de sustentabilidade de uma indústria, Azapagic e Perdan (2000) também propuseram um conjunto relativamente simples, porém abrangente de indicadores que possibilitam verificar o uso de práticas mais sustentáveis em indústrias de maneira geral. Porém, os autores ressaltam que os indicadores empresariais devem incluir indicadores genéricos, que podem ser utilizados por qualquer indústria, e indicadores específicos do setor, que podem variar de setor para setor, conforme a atividade desenvolvida.

A proposta desenvolvida pelos autores contempla 3 dimensões: ambiental, econômica e social. Incorpora o conceito de ciclo de vida e é composta por 31 indicadores, sendo todos expressos por unidade de serviço de cada sistema produtivo (por exemplo, por unidades de massa de um produto ou considerando a produção anual de uma empresa). Embora os autores reconheçam que, para comparar os indicadores e construir um índice que possibilite a comparação entre empresas de diferentes setores, faz-se necessária a normalização dos dados, eles entendem que isso não é adequado, devido às diferentes características de cada indicador. Em consequência, argumentam que somente é possível comparar o nível de sustentabilidade entre empresas de um mesmo setor, comparando o resultado obtido por empresa, para o mesmo indicador. Além disso, ainda comentam que podem existir indicadores quantitativos ou qualitativos, não sendo, nesse caso, a normalização por unidade de medida possível, nem significativa (AZAPAGIC; PERDAN, 2000).

Azapagic (2004) propõe um conjunto de indicadores específicos para a indústria de mineração e minerais, compatíveis com os indicadores gerais da GRI, com o objetivo de traduzir as principais questões do desenvolvimento sustentável do setor. Para a autora, o desenvolvimento sustentável exige uma abordagem holística, baseada no ciclo de vida dos

materiais. Portanto, entende que os indicadores de sustentabilidade devem traduzir os aspectos relevantes da sustentabilidade através de medidas representativas do seu desempenho, tanto a partir de aspectos internos como externos importantes para a empresa.

O quadro de indicadores propostos pela autora divide os indicadores em três categorias principais: econômica, ambiental e social. A categoria econômica é avaliada a partir de 7 indicadores, a ambiental considera 13 indicadores e a social (subdividida em 4 subcategorias - práticas trabalhistas, direitos humanos, sociedade e responsabilidade do produto), é mensurada a partir de 17 indicadores. Os indicadores classificam-se em quantitativos, os quais são expressos em diferentes unidades de medida, e qualitativos. Ademais, a autora ainda apresenta um conjunto de indicadores integrados, inter-relacionando duas dimensões, mas não mensura um índice global de sustentabilidade.

De acordo com Keeble, Topiol e Berkeley (2003), o desenvolvimento de indicadores nas empresas não é tarefa fácil, além de envolver de forma intensa os responsáveis pelo acompanhamento do processo. Para os autores, os indicadores de sustentabilidade devem exprimir a realidade sobre o negócio, os valores e a cultura da organização e, por isso, não devem seguir regras prescritivas.

Outra alternativa utilizada pelas empresas para avaliar os aspectos críticos da sustentabilidade é a utilização de métricas. Segundo Tanzil e Bellof (2006), as métricas são mais restritas que os indicadores de sustentabilidade, expressando dados quantitativos. No trabalho, os autores sugerem o uso de métricas de eco-eficiência, uma vez que estas seriam capazes de identificar aspectos críticos para a sustentabilidade e estariam diretamente relacionadas às dimensões ambiental e social, a partir da avaliação dos usos de recursos e os impactos ao meio ambiente (consumo de materiais, energia, água, emissões de poluentes, geração de resíduos e uso da terra).

Essas métricas são consideradas pelos autores como básicas, embora ainda possam ser adotadas também métricas complementares, além de serem importantes para a gestão e controle da atividade. Eles ainda abordam que seria desejável agregar as métricas a um único índice de desempenho, facilitando a sua análise e comparação. Para tanto, sugerem que todas as métricas sejam convertidas para a mesma unidade de medida, através de diferentes técnicas, de modo a identificar a importância relativa dos diferentes impactos e os pontos críticos que requerem maiores esforços (TANZIL; BELLOF, 2006).

Veleva e Ellenbecker (2001) propõem o desenvolvimento e a implementação de indicadores de produção sustentável, utilizando como referência o conceito proposto pelo Centro de Lowell para a Produção Sustentável (*Lowell Center for Sustainable Production – LCSP*), da Universidade de Massachusetts Lowell. Para os autores, os indicadores de produção sustentável são semelhantes aos indicadores de sustentabilidade, já que também consideram as três dimensões básicas da sustentabilidade.

Esses indicadores, porém, são desenvolvidos a partir das instalações da produção e visam avaliar questões-chave (energia e utilização de recursos materiais, ambiente natural, desenvolvimento comunitário e de justiça social, desempenho econômico, trabalhadores, e produtos). Assim, os objetivos principais dos indicadores de produção sustentável são: orientar os negócios com esse propósito; auxiliar na tomada de decisão, de modo a fornecer informações sobre o estado atual e tendências do negócio; proporcionar uma aprendizagem organizacional; ofertar às instituições uma ferramenta de medição do seu desempenho em direção às metas de produção sustentável; possibilitar a análise comparativa de organizações no que se refere ao desempenho de diferentes aspectos de sua produção (ambientais, sociais, ocupacionais e econômicos); contribuir para a análise do alcance da missão organizacional e sua comunicação para as partes interessadas; e, incentivar a participação das partes interessadas no processo de tomada de decisão (VELEVA; ELLENBECKER, 2001).

Nesse sentido, e considerando que o desenvolvimento de indicadores não é estático, mas sim, um processo contínuo e em constante evolução, a LCSP apresentou um quadro de indicadores divididos em 5 níveis. O primeiro nível tem por objetivo mensurar se a organização está ou não em conformidade com normas e padrões aos quais está enquadrada. O segundo nível busca avaliar as entradas e saídas do processo e o desempenho da empresa. O nível três visa mensurar os efeitos potenciais de uma empresa/organização sobre o meio ambiente, sociedade e a economia. No quarto nível estimam-se os impactos da produção da instituição dentro da cadeia produtiva. E, o nível cinco de indicadores expressa como o processo produtivo de uma organização se insere em uma sociedade sustentável (VELEVA; ELLENBECKER, 2001).

Assim, esse quadro demonstra que as empresas devem começar com o monitoramento de questões simples, fáceis de implementar e seguir em direção a indicadores mais complexos, nos quais são abordados efeitos ambientais e sociais sobre a cadeia de suprimentos e o ciclo de vida dos produtos. Para tanto, os autores sugerem vinte e dois

indicadores principais, simples e de fácil aplicação, que podem ser adotados em qualquer indústria, divididos nas seis questões-chave da produção sustentável. Conforme os autores, essa seria uma primeira etapa para as condições de avaliação da sustentabilidade, sendo necessária ainda a adoção de indicadores complementares adaptados à realidade de cada setor. Os autores ainda informam que esses indicadores podem ser mensurados a partir de seus valores absolutos (por exemplo, energia total utilizada por ano em kWh) ou valores ajustados (neste caso, poderia ser avaliada a energia utilizada por unidade de produto/serviço por ano) (VELEVA; ELLENBECKER, 2001).

Krajnc e Glavic (2003) também apresentaram um quadro de indicadores de produção sustentável para avaliar o nível de sustentabilidade de uma empresa e auxiliar na definição de opções mais sustentáveis para o futuro. Os indicadores são aplicáveis a qualquer indústria e concentram-se na dimensão ambiental, embora ressaltem que, para uma produção sustentável, também devem ser incorporados indicadores sociais e econômicos. Os indicadores ambientais foram divididos em indicadores de entrada (24 indicadores) e de saída (39 indicadores), a partir dos fluxos de materiais e resíduos. Já os indicadores econômicos foram subdivididos em financeiros (9 indicadores) e relacionados aos empregados (7 indicadores). E, a dimensão social foi formada por 10 indicadores. Cada um desses indicadores foi expresso em diferentes unidades de medidas. Ademais, o trabalho não se propôs a calcular um índice agregado de sustentabilidade.

Chen et al. (2014) desenvolveram uma proposta de avaliação rápida e holística da sustentabilidade em pequenas e médias empresas de manufatura, através de um conjunto de 133 indicadores, organizados em sete áreas funcionais da gestão (produção e manutenção, meio ambiente, saúde e segurança, logística, gestão e economia, compras e pessoal). Os autores entendem que cada indicador deve ser adequado para uma avaliação rápida, traduzindo de forma simplificada as informações fornecidas pelos usuários, uma vez que as empresas carecem de informações sobre a sua situação em um determinado momento e não dispõem de muitos recursos em termos de pessoal, tempo e capital. Para os autores, os indicadores devem ser facilmente acessíveis, compreensíveis, e não demandarem muito tempo para o seu levantamento, permitindo que os usuários respondam às perguntas diretamente.

Para facilitar a compreensão dos resultados, sugerem que os valores dos indicadores sejam agregados a um índice geral. Por isso, cada indicador deve ser julgado, normalizado e ponderado de forma quantitativa (em um exemplo, sugerem a utilização da escala Likert de 1

a 5). Ao final, indicam que os indicadores sejam apresentados na forma de tabela ou através de um gráfico de aranha (CHEN et al., 2014).

No Brasil, o Instituto Ethos (2014) propôs um conjunto de indicadores sob um contexto de responsabilidade social empresarial. Esses indicadores buscam avaliar o quanto a sustentabilidade e a responsabilidade social estão sendo introduzidas aos negócios, contribuindo para a definição de estratégias, políticas e processos. Eles são compostos por um conjunto de questões qualitativas e quantitativas (sendo estas opcionais). Entretanto, esse conjunto de indicadores não se propõe a medir o desempenho das empresas, nem reconhecer empresas como sustentáveis ou responsáveis.

Bell e Morse (2003) ainda destacam que muitos projetos voltados para a criação de indicadores de desenvolvimento sustentável tendem a focar-se demasiadamente em questões técnicas, relacionadas à forma de medir e ao tipo de indicador, por exemplo, ao invés de preocupar-se em mensurar as principais mudanças. Em consequência, os autores identificaram que é comum encontrar na literatura trabalhos que discutem questões metodológicas, mas que pouco informam sobre a forma ou o modo como esses indicadores contribuíram para melhorar a qualidade de vida das pessoas.

Feng e Joung (2009) também ressaltam que, na maioria, os quadros de indicadores disponíveis estão mais focados em comunicar informações às partes interessadas, do que em contribuir para a tomada de decisão interna. Nesse contexto, defendem que os fabricantes precisam de um modelo padrão para o desenvolvimento de um ambiente de produção sustentável, através do qual eles consigam avaliar e acompanhar seu desempenho de sustentabilidade de uma maneira simples e fácil.

Com base no exposto, pode-se afirmar que a adoção de indicadores de sustentabilidade pelas organizações contribui para a sua avaliação em um momento inicial, assim como, para o seu acompanhamento e monitoramento na direção por condições mais sustentáveis. Eles também auxiliam na mensuração dos seus impactos sobre outros setores a partir de uma perspectiva holística, uma vez que levam em consideração as diferentes dimensões da sustentabilidade.

Na literatura é possível encontrar princípios gerais e diretrizes para a definição dos indicadores e, embora não haja um modelo padrão de indicadores de sustentabilidade, foi possível identificar que existe um número expressivo de propostas de indicadores sendo

divulgado. Algumas dessas propostas são aplicadas a qualquer indústria, enquanto outras são direcionadas para setores específicos. Elas são compostas por indicadores quantitativos (em sua maioria), mas algumas também apresentam indicadores qualitativos e geralmente levam em consideração as três dimensões básicas da sustentabilidade, apesar de alguns trabalhos serem direcionados mais à questão ambiental. Todavia, bons indicadores devem ser específicos, mensuráveis, úteis, sensíveis a mudanças, relativamente baratos, disponíveis, representativos, claros, objetivos, abrangentes, mas compactos e indicar tendências.

Além disso, enquanto alguns autores defendem a necessidade de haver uma normalização entre os resultados calculados para que seja possível a sua agregação através de um índice, outros autores sugerem que cada indicador seja expresso na sua unidade de medida, sob pena de ocorrerem perdas de informações. Em consequência, a maioria das propostas não chega a calcular um índice, apenas sugerem um conjunto de indicadores de sustentabilidade. No entanto, nesses casos, para que seja possível realizar a sua avaliação, existe a necessidade de haver parâmetros de referência.

Ademais, é importante destacar ainda que um indicador ou um conjunto deles não define, nem assegura o alcance da sustentabilidade, pois os indicadores são provenientes de modelos imperfeitos e jamais conseguirão retratar toda a realidade, o que não significa que não possam fornecer informações relevantes para os processos de tomada de decisão e para o monitoramento e desenvolvimento das condições para a sustentabilidade.

## **2.4 Estratégias para a Sustentabilidade empresarial**

As preocupações com a degradação do meio ambiente e com o bem-estar das pessoas fizeram emergir, nas últimas décadas, novos valores sociais, culturais e de estilo de vida, os quais têm demandado das empresas o desenvolvimento de uma produção ambientalmente correta e que garanta a qualidade de vida do trabalhador. Nesse sentido, o ambiente operacional tem se tornado mais complexo a cada dia nas empresas, devido à necessidade de adoção de atitudes de maior responsabilidade e de transparência (ALMEIDA, 2007).

O crescimento das economias depende diretamente do desempenho das indústrias, sendo elas responsáveis pelo fornecimento de parte dos bens e serviços utilizados para

satisfazer as necessidades humanas. Contudo, para isso, a indústria, além de extrair matérias-primas da base natural utilizada na produção de bens, também deposita no meio ambiente os resíduos e poluição decorrentes do processo de produção (CMMAD, 1991).

Em consequência, as empresas são as principais responsáveis pelos problemas ambientais e pela diminuição e transformação dos recursos naturais, pois utilizam insumos extraídos da natureza para a produção de bens que irão satisfazer as necessidades da população (KRAJNC; GLAVIC, 2003; DIAS, 2011). Por esse motivo, elas estão precisando assumir maiores responsabilidades, não somente no que se refere ao cumprimento de exigências legais e de uma cidadania mais ativa, mas também, como unidades integradas com a perspectiva da sustentabilidade do desenvolvimento (DIAS, 2011).

Para Feng e Joung (2009), a sustentabilidade do desenvolvimento reside na capacidade de uma organização progredir em termos econômicos, mas sem comprometer o meio ambiente natural e a equidade social. Nesse sentido, Krajnc e Glavic (2003) salientam que os aspectos ambientais devem ser incorporados à cultura da organização e ao planejamento da atividade em todos os seus níveis, desde a concepção, fabricação e distribuição de um produto, até a sua eliminação, considerando a avaliação de todo o ciclo.

Em consequência, as indústrias são um fator-chave para o alcance dos objetivos da sustentabilidade. Embora a indústria seja considerada uma fonte de degradação ambiental e esgotamento de recursos, também é uma parte vital para o desenvolvimento e criação de riqueza. Sistemas industriais causam e determinam os fluxos de materiais e energia. Assim, as indústrias assumem um papel importante na identificação e adoção de opções mais sustentáveis (CALLENS; TYTECA, 1999; AZAPAGIC; PERDAN, 2000). Ademais, para garantir a sua sobrevivência no longo prazo nos mercados globais, as empresas de manufatura devem buscar a sustentabilidade como um objetivo estratégico (LEE; LEE, 2014).

A Agenda 21, em seu capítulo 31, estabelece que uma das principais prioridades das indústrias e do setor de comércio deve ser a manutenção do meio ambiente para contribuir com o desenvolvimento sustentável. Por esse motivo, eles cumprem um papel fundamental na busca pela redução do uso de recursos e dos impactos sobre o meio ambiente através da introdução de processos produtivos mais eficientes, de estratégias preventivas, do uso de procedimentos e de tecnologias mais limpas de produção ao longo do ciclo de vida do produto, de forma a minimizar ou não gerar resíduos (BRASIL, 1992).

Assim, a busca pela sustentabilidade tem se transformado em um novo desafio para as indústrias de transformação devido à possibilidade de esgotamento dos recursos naturais e energéticos, da degradação do meio ambiente global, e à busca de melhor qualidade de vida dos seres humanos. Nessa circunstância, os processos de produção precisam tornar-se sustentáveis, pois, embora contribuam para a melhoria dos padrões de vida da população ao fornecerem bens fundamentais, também são a principal fonte de consumo de recursos naturais e de geração de resíduos, inclusive tóxicos, prejudiciais ao meio ambiente (FENG; JOUNG, 2009).

Chen et al. (2012) afirmam que, na última década, as indústrias têm sido levadas a considerar em seu planejamento, além dos benefícios econômicos, também questões sociais e ambientais para atender uma demanda da sociedade. A responsabilidade socioambiental deve ser compreendida como uma extensão da empresa, devendo estar presente em todas as decisões e atividades (ALIGLERI; ALIGLERI; KRUGLIANSKAS, 2009). Por isso, os produtores têm estabelecido como meta desenvolver processos produtivos que minimizem os impactos ambientais, garantindo a manutenção dos benefícios sociais e econômicos (CHEN et al., 2012; JOUNG et al., 2012), o que tem sido possível através da implementação de técnicas e ferramentas que visem uma produção sustentável.

Conforme a CMMAD (1991), o desenvolvimento industrial, para ser sustentável, precisa tornar-se mais eficiente no uso de recursos com o intuito de minimizar a geração de resíduos, priorizar o uso de recursos renováveis em substituição aos não renováveis e reduzir os impactos negativos sobre a saúde do homem e sobre o meio ambiente.

A produção sustentável visa o aumento da eficiência dos processos, a redução do desperdício de matéria-prima, o menor consumo de energia, a qualidade dos produtos e serviços, tecnologia e capacidade de inovação, assim como a introdução da dimensão ecológica na definição de suas políticas (ALIGLERI; ALIGLERI; KRUGLIANSKAS, 2009).

A LCSP estabelece que uma produção é sustentável quando os produtos e serviços gerados são decorrentes de processos e sistemas não poluentes, que se preocupam em conservar energia e recursos naturais, são economicamente viáveis, seguros e saudáveis para os funcionários, comunidades e consumidores. Por isso, as empresas que desejam incorporar práticas mais sustentáveis devem levar em consideração seis aspectos principais: energia e

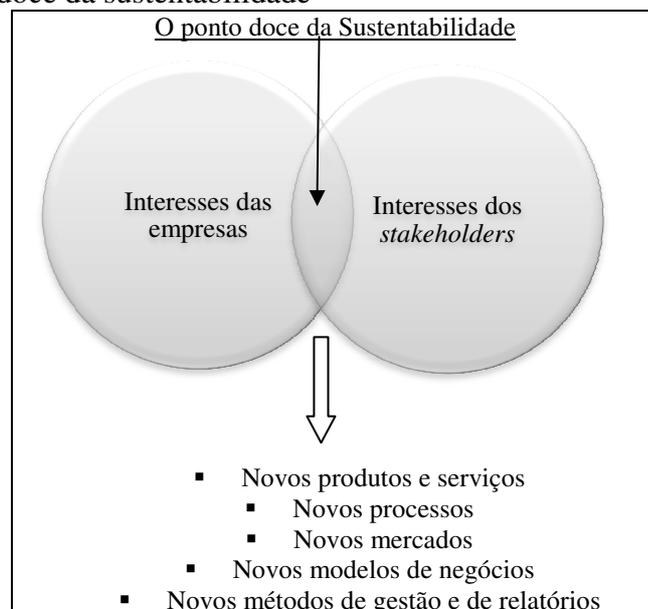
uso de materiais (recursos); ambiente natural; justiça social e desenvolvimento comunitário; desempenho econômico; trabalhadores; e, produtos (VELEVA; ELLENBECKER, 2001).

Uma empresa sustentável é aquela que ao final do período contábil, foi capaz de manter a biosfera na mesma situação em que se encontrava no início, mas quando incluímos as dimensões social e ética da sustentabilidade, a gama de questões relacionadas à sustentabilidade e os impactos aumentam drasticamente (ELKINGTON, 2012, p. 134).

Uma empresa sustentável adota procedimentos para além da legislação ambiental, sem, no entanto, deixar de garantir o retorno ao capital financeiro (realizado pelos investidores), ao capital natural e social (aportado pela sociedade em geral) e ao capital técnico (aportado pelos empregados e fornecedores) (ALMEIDA, 2007).

Savitz e Weber (2007) definem uma empresa sustentável como aquela capaz de gerenciar seus negócios de modo a trazer benefícios de forma natural para todas as partes interessadas (incluindo colaboradores, clientes, parceiros de negócios, as comunidades em que atua, e, claro, os acionistas). Eles denominaram como “ponto doce da sustentabilidade” o espaço onde a busca do lucro e dos interesses comerciais combina perfeitamente com os interesses da sociedade (FIGURA 04). Para os autores, a sustentabilidade contribuiu para a obtenção de maior rentabilidade para a grande maioria das empresas.

Figura 04 – O ponto doce da sustentabilidade



Fonte: Adaptado de Savitz e Weber (2007, p. 18).

A sustentabilidade contribui para a realização de negócios em um mundo interdependente, protegendo a empresa contra riscos ambientais, financeiros e sociais, assim

como, contribuindo para o aumento da eficiência e produtividade e o desenvolvimento de novos produtos, serviços e mercados. Também coopera para a melhoria da imagem da empresa junto aos seus colaboradores e clientes (SAVITZ; WEBER, 2007).

Dias (2011) afirma que a gestão ambiental, entendida como a gestão empresarial orientada a evitar, quando possível, a geração de problemas ambientais, é o principal instrumento para obter um desenvolvimento industrial sustentável. Seu objetivo é almejar que os efeitos ambientais não sejam maiores que a capacidade de carga do meio onde a organização está inserida, de modo a alcançar o desenvolvimento sustentável (DIAS, 2011).

Nas práticas de controle ambiental organizacional são identificados três paradigmas diferentes. Primeiro, os resíduos simplesmente eram depositados no meio ambiente, sem nenhum tratamento. Em seguida, durante a década de 1970 e 1980, as organizações passaram a preocupar-se com o tratamento ou a disposição dos resíduos poluentes produzidos, após estes já terem sido gerados. A literatura denomina esse método como de “fim-de-tubo”, pois apenas buscava atender à legislação, dispondo a poluição na natureza. Porém, essa abordagem reativa não era viável em longo prazo, pois gerava altos custos e passivos ambientais para as empresas.

Já, nas últimas décadas, é possível observar uma mudança intensa de postura por parte das organizações, com o surgimento de um novo paradigma baseado em princípios de Produção mais Limpa (P + L) aplicados ao processo produtivo, que objetivam prevenir ou reduzir a geração de resíduos na fonte e sua toxicidade. Apesar de sua utilização ser mais complexa se comparada às técnicas de fim-de-tubo, uma vez que implica em alterações no processo produtivo e/ou implementação de novas tecnologias, ela possibilita a redução permanente dos custos, visto que incorpora ganhos ambientais, econômicos e de saúde ocupacional (AZAPAGIC; PERDAN, 2000; CNTL, 2003a; SEIFFERT, 2011).

O Quadro 02 apresenta as principais diferenças existentes entre a abordagem fim-de-tubo e a P + L. Na abordagem fim-de-tubo não se tinha nenhuma preocupação com o uso eficiente dos recursos, pois se acreditava possível controlá-los com o uso de equipamentos e novas tecnologias, cabendo as discussões ambientais aos especialistas. Já sob a ótica da P + L, a proteção ambiental é de responsabilidade de todos, por isso as empresas passaram a utilizar os recursos de forma mais eficiente e a minimizar a geração de resíduos, em especial os tóxicos, contribuindo, assim, também para a redução dos custos.

Quadro 02 – Comparativo entre abordagem das ações Fim-de-Tubo e Produção mais Limpa

| Técnicas de Fim-de-Tubo  | Produção mais Limpa  |
|--|--|
| - Pretende reação.   | - Pretende ação.   |
| - Os resíduos, os efluentes e as emissões são controlados através de equipamentos de tratamento. | - Prevenção da geração de resíduos, efluentes e emissões na fonte. Procurar evitar matérias-primas potencialmente tóxicas. |
| - Proteção ambiental é um assunto para especialistas competentes.                                | - Proteção ambiental é tarefa para todos.  |
| - A proteção ambiental atua depois do desenvolvimento dos processos e produtos.                  | - A proteção ambiental atua como uma parte integrante do design do produto e da engenharia do processo.                    |
| - Os problemas ambientais são resolvidos a partir de um ponto de vista tecnológico.              | - Os problemas ambientais são resolvidos em todos os níveis e em todos os campos.  |
| - Não tem a preocupação com o uso eficiente de matérias-primas, água e energia.                  | - Uso eficiente de matérias-primas, água e energia.  |
| - Leva a custos adicionais.  | - Ajuda a reduzir custos.  |

Fonte: CNTL, 2003a.

Assim, desde o início da década de 1990, o setor empresarial vem promovendo uma mudança de atitude positiva para com o meio ambiente. A postura das indústrias passa de reativa para proativa, pois observam que, ao atender a legislação ambiental, não estão apenas evitando acidentes e riscos ambientais, mas também, obtendo vantagens competitivas a partir da variável ecológica. O dejetos começa a ser considerado um recurso, e empresas passam a preocupar-se com a economia de recursos naturais e energéticos, diminuindo o desperdício e a poluição (LAYRARGUES, 2000).

O desempenho ambiental começa a ser integrado à estratégia e desenvolvimento de negócios e divulgado ao público externo através da elaboração de relatórios ambientais. Para Azapagic e Perdan (2000), isso indica uma mudança de paradigma, ou seja, uma mudança de atitude no mundo dos negócios, que resultou em iniciativas voltadas para a gestão ambiental mais responsável. Parte-se de uma visão fragmentada do meio ambiente, que se preocupava apenas com soluções de “fim de tubo”, para uma abordagem de ciclo de vida mais holística que incorpora fatores econômicos, ambientais e sociais, conduzindo para mais soluções sustentáveis.

Segundo Aligleri (2011), a criação de novos modelos de gestão é consequência da nova dinâmica econômica. A preocupação de crescer, sem destruir o meio ambiente, provocou discussões acerca do papel e da atuação das empresas, as quais passaram a incluir compromissos com a responsabilidade socioambiental. Em consequência, as empresas introduziram diversas práticas de gestão comprometidas com a sociedade. Essas práticas envolvem:

a eco-eficiência dos processos e o *ecodesign* de produtos, além da contabilidade ambiental, avaliação da procedência e composição da matéria-prima, análise de alternativas de produtos recicláveis ou de menor impacto ambiental, seletividade de fornecedores e distribuidores ambientalmente corretos e com preocupação em relação à contratação de mão-de-obra infantil, realização de campanha de mídia relacionada a questões de interesse público, respeito aos direitos humanos, diversidade de raça e credos no ambiente organizacional, ética empresarial, definição de diretrizes contra assédio, recolocação de trabalhadores demitidos entre outros (ALIGLERI, 2011, p. 8).

Segundo a Agenda 21, o melhoramento dos sistemas de produção através do uso de tecnologias e processos mais eficientes e que contribuem para redução da geração de resíduos, constitui-se um caminho na direção da sustentabilidade. Para tanto, propõe o desenvolvimento de dois programas: a Produção mais Limpa (P + L) e a promoção da responsabilidade empresarial (BRASIL, 1992).

No entanto, é fundamental que as empresas percebam que o benefício ambiental possibilita um aumento da produtividade dos recursos naturais. A poluição não pode ser considerada como um sinônimo de ineficiência. O planejamento ambiental adequado pode desencadear inovações que reduzem o custo ou agregam valor a um produto, tornando, assim, as empresas mais competitivas (PORTER; VAN DER LINDE, 1995). Al-Yousfi (2004) destaca ainda que por muitos anos isso não aconteceu pelo mito de que a adoção de práticas ambientais responsáveis impossibilitaria o desenvolvimento econômico e prejudicaria a resolução de problemas sociais e de competitividade dos países.

Para Layrargues (2000), reduzir os custos para aumentar a produtividade das organizações foi o objetivo que motivou o processo de transição industrial orientado pela incorporação de tecnologias. O autor ainda ressalta que, se isso for benéfico ao meio ambiente, será melhor ainda, visto que possibilita uma economia de recursos e a melhora da imagem empresarial diante da opinião pública.

A adoção de métodos de gestão ambiental pode ser motivada por diversos fatores, além dos interesses econômicos, internos e externos à organização, tais como: necessidade de redução de custos, incremento na qualidade do produto, melhoria da imagem do produto e da empresa, necessidade de inovação, aumento da responsabilidade social, exigências do mercado, acirramento da concorrência, controles do poder público e exigências legais, busca por certificações ambientais, entre outros (DIAS, 2011).

De acordo com Dias (2011), para as empresas, o conceito de desenvolvimento sustentável tem sido empregado através de formas de gestão mais eficientes, como a

ecoeficiência e a P + L, ao invés do aumento do nível de consciência empresarial sob a perspectiva de um desenvolvimento econômico mais sustentável. Contudo, apesar da existência de um crescimento da mobilização em torno da sustentabilidade, ela continua centralizada no ambiente interno das organizações, direcionada prioritariamente para processos e produtos. De maneira complementar, Elkington (2012) ainda reconhece que, embora seja difícil afirmar que uma empresa ou indústria é sustentável, é possível avaliar se ela está se deslocando no sentido certo ou não.

Em suma, para atender as demandas das sociedades, as empresas produzem bens e serviços, utilizando, para isso, diversos tipos de recursos (renováveis e não renováveis), assim como, são responsáveis pela geração de significativos volumes de resíduos, contribuindo para a degradação ambiental. Por isso, as suas ações e práticas influenciam diretamente no desempenho ambiental das sociedades e contribuem diretamente na busca por condições mais sustentáveis.

Diante dessa realidade, pode-se afirmar que uma empresa será mais sustentável quando atender não somente aos seus interesses financeiros, mas também a interesses sociais e ambientais das comunidades/regiões onde estão inseridas. Em outras palavras, quando suas atividades forem desenvolvidas em um contexto ambientalmente correto, não poluente, no qual se busca aumentar a eficiência na utilização dos recursos consumidos e o bem-estar dos funcionários, garantindo sua qualidade de vida, além, é claro, de serem economicamente viáveis.

Essas condições poderão ser alcançadas pelas empresas através do uso de tecnologias limpas e de estratégias que tornem os processos mais eficientes, como, por exemplo, através da adoção de ferramentas que visem a P + L, através da adoção de estratégias preventivas que busquem utilizar os recursos de forma mais eficiente e reduzam a geração de resíduos. Mas também através da realização da avaliação do ciclo de vida (ACV), a qual se foca nos aspectos ambientais, visto que prevê a avaliação de todo o ciclo de vida de um produto, desde a extração e aquisição de matérias-primas, manufatura, uso, tratamento de fim de vida até a disposição final. Ambas as estratégias serão abordadas a seguir.

### 2.4.1 A Produção mais Limpa

A Produção mais Limpa (P + L) pode ser caracterizada como uma ferramenta de uso contínuo que tem por objetivo utilizar os recursos naturais de forma mais eficiente, de modo a não gerar, a minimizar ou reciclar os resíduos e as emissões geradas, trazendo benefícios ambientais, econômicos e para a saúde do trabalhador (UNEP, 2010; CNTL, 2003a). Ela envolve mudanças que abordam a origem do problema, ao invés de analisar os sintomas, pois tem como objetivo minimizar ou evitar a geração de resíduos, diferentemente do que vinha sendo adotado pelas empresas em períodos passados.

A P + L é a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva aplicada a processos, produtos e serviços para aumentar a ecoeficiência e reduzir os riscos para os seres humanos e o meio ambiente. Para processos, a P + L inclui a conservação de matérias-primas e energia, eliminação de matérias-primas tóxicas e a redução de emissões e resíduos, bem como de sua toxicidade. Para produtos, P + L visa reduzir os impactos negativos ao longo do ciclo de vida do produto, desde a extração de matérias-primas até a disposição final. E, no que se refere aos serviços, ela visa incorporar as preocupações ambientais na geração e prestação de serviços (UNIDO, 2002; UNEP, 2010; GAVRILESCU, 2004). Suas técnicas vão desde soluções sem nenhum custo, até investimentos elevados para o uso de tecnologias limpas (UNEP, 2010).

As tecnologias limpas são tecnologias de controle de poluição, de processos de fabricação mais limpa e de gestão de resíduos e produtos mais limpos. Sua utilização está associada, em geral, a regulamentações ambientais e também a custos e benefícios obtidos com a sua implementação, os quais podem variar de uma instituição para outra, em decorrência do tamanho, do produto, do tipo de processo, tempo de vida econômica de processos de fabricação, recursos de tecnologia, gestão, envolvimento com os agentes externos e a sua situação financeira (KEMP; VOLPI, 2008). Elas priorizam a eliminação da poluição a montante dos processos produtivos, buscando atingir a condição de emissão zero e, assim, contribuir para a solução dos problemas ambientais gerados pela indústria (KIPERSOTK, 1999).

Ao contrário das tecnologias de fim-de-tubo que eram inseridas ao final do processo de produção para facilitar o manuseio dos resíduos, as tecnologias limpas envolvem alterações nos processos de produção com o objetivo de reduzir os contaminantes decorrentes do

processo de produção ou ao longo do ciclo de vida de um produto (GONZÁLEZ, 2005).

Para Hilson (2000), essas tecnologias incluem tanto equipamentos de eficiência ambiental, adaptados aos projetos de fim-de-tubo, como sistemas de controle aperfeiçoados. O autor também ressalta que, para diversos pesquisadores e empresários, a adoção de tecnologias limpas e de práticas de produção mais limpa garante um cenário de “ganha-ganha” (*win-win*), tanto para as empresas como para o meio ambiente.

Segundo González (2005), as modificações tecnológicas contribuem de forma significativa para diminuir os impactos decorrentes dos processos de fabricação, melhorando o bem-estar humano. Para o autor, a transição para uma sociedade mais sustentável, depende, entre outros fatores, de uma maior difusão de tecnologias limpas. Contudo, destaca que existem diversas barreiras econômicas, institucionais e sociais, pois os agentes privados possuem poucos incentivos para criar ou adotar tecnologias limpas. Apesar de sua difusão contribuir para a minimização de custos externos, nem sempre possibilitam uma redução dos custos individuais (GONZÁLEZ, 2005).

Contudo, a P + L não precisa se restringir a algumas atividades ou a um setor produtivo, pois o conceito não equivale somente ao uso de tecnologias limpas. O seu conceito pressupõe uma mudança de atitude e de práticas de gestão, o emprego do conhecimento disponível e a melhoria ou alteração de tecnologias. Além disso, ela não precisa ser cara ou envolver mudanças significativas na tecnologia empregada, sendo que o uso de P + L pode contribuir para as formas sustentáveis de desenvolvimento econômico. Essa estratégia contribui para proteger o meio ambiente, o consumidor e o trabalhador, melhorando a eficiência industrial, a lucratividade e a competitividade das empresas (GAVRILESCU, 2004).

Schramm (1998) cita que, conforme o entendimento internacional, os alvos da P + L sobre o nível de produção são reduzir (ou minimizar): a quantidade de recursos consumidos; a quantidade de resíduos e emissões geradas; os perigos dos resíduos e emissões geradas (principalmente pela substituição adequada de insumos); e o risco de acidente ou avaria. Nesse sentido, o autor destaca a necessidade do conhecimento das causas gerais da produção de resíduos e emissões, para a avaliação de tecnologias no processo a partir da P + L.

De modo complementar, para Al-Yousfi (2004), a P + L tem quatro objetivos gerais para a busca de um futuro sustentável: a) minimizar o uso de recursos não renováveis; b)

gerenciar recursos renováveis para garantir a sustentabilidade; c) reduzir, com o objetivo final de eliminar, as emissões de resíduos perigosos e tóxicos para o meio ambiente (de preferência na fonte); e, d) atingir esses objetivos de forma mais rentável, enfatizando o desenvolvimento sustentável.

Além disso, o autor ainda ressalta que as metas sociais dessa estratégia estariam relacionadas à garantia de um futuro sustentável do meio ambiente e da sociedade, o que poderia ser alcançado com desenvolvimento de novas tecnologias e conhecimento, permitindo, assim, a superação de problemas ambientais. Contudo, destaca que a tecnologia e o conhecimento não serão suficientes para combater alguns problemas ambientais, em especial aqueles relacionados aos recursos não renováveis (AL-YOUSFI, 2004).

Segundo Gavrilescu (2004), a produção e o consumo sustentável exigem a adoção de práticas que visem à minimização do consumo de matérias-primas e de energia, assim como da geração de resíduos. Ao mesmo tempo, são necessárias ações de planejamento e gestão que permitam a incorporação de abordagens inovadoras para a reutilização, remanufatura e reciclagem dos resíduos que não podem ser evitados, com base numa abordagem integrada.

Fresner (1998) afirma que a P + L pode ser empregada em diversos momentos do ambiente empresarial, tais como: boa limpeza de materiais e energia, treinamento de funcionários, melhor logística e comunicação, substituição de materiais com o uso de produtos menos nocivos e com mais eficiência ou ainda que podem ser reciclados dentro da empresa ou em outros setores, mudanças nos produtos que permitam eliminar processos com maior impacto ambiental, mudanças nos processos, visando minimizar a geração de resíduos e emissões, em reciclagens internas, e incorporação de resíduos em redes de reciclagem externa.

De forma complementar, Medeiros et al. (2007) afirmam que as alterações no produto podem provocar modificações na sua composição, durabilidade e nos padrões de qualidade do produto, com o objetivo de eliminar ou reduzir o uso de materiais tóxicos ou ecologicamente prejudiciais, enquanto que as alterações no processo de produção podem ocorrer através de mudanças na tecnologia, buscando reduzir a geração dos resíduos.

P + L é uma estratégia preventiva para minimizar o impacto da produção e produtos no meio ambiente. Os principais atores da P + L são as empresas, que controlam os processos de produção e são influenciadas pelos seus clientes (particulares, empresas públicas ou outras) e pela política (por leis, regulamentos, impostos) (FRESNER, 1998).

O objetivo da P + L é minimizar ou evitar a necessidade de tratamento de resíduos, assim como a sua diluição, para atender a normas ambientais, e a transferência de materiais tóxicos ou perigosos de um lugar para outro. Em outras palavras, ela busca combater a origem dos problemas ambientais, ao invés dos sintomas. Contudo, para Gavrilescu (2004), isso exige uma mudança de atitude e na forma de pensar sobre os processos e produtos.

Conforme o CNTL (2003a), a implantação de um programa de P + L pode trazer benefícios ambientais e econômicos para as empresas através de:

[...] eliminação de desperdícios; minimização ou eliminação de matérias-primas e outros insumos impactantes para o meio ambiente; redução dos resíduos e emissões; redução dos custos de gerenciamento dos resíduos; minimização dos passivos ambientais; incremento na saúde e segurança do trabalho. E ainda contribui para: melhor imagem da empresa; aumento da produtividade; conscientização ambiental dos funcionários; redução de gastos com multas e outras penalidades (CNTL, 2003a, p. 14).

Na maior parte dos países, a implementação de P + L está associada a: a) boas práticas de limpeza; b) modificações nos insumos, com a substituição de materiais perigosos ou não-renováveis por materiais menos perigosos ou renováveis; c) melhor controle dos processos, buscando aumentar a eficiência dos processos e diminuir a geração de resíduos e emissões; d) mudanças de equipamentos e tecnologias; e) reúso e reciclagem de materiais dentro da própria empresa; f) produção de novos subprodutos a partir dos resíduos descartados e que podem ser utilizados em outros setores; g) mudanças das características dos produtos, buscando minimizar os impactos ambientais da produção (UNEP, 2010).

Por esse motivo, ela contribui para o aumento da produtividade das empresas, através da utilização dos recursos de forma mais eficiente, diminuição dos custos da atividade, redução dos níveis de poluição. Além disso, está de acordo com os sistemas de gestão ambiental e auxilia na obtenção da certificação ISO 14000, de modo a produzir produtos e serviços melhores e mais seguros, melhorando a imagem da empresa (GAVRILESCU, 2004).

Para Gavrilescu (2004), o ponto de partida para a avaliação de um programa de P + L é a realização de um inventário de entradas e saídas do processo, com o intuito de identificar as principais causas da produção de resíduos e emissões.

Contudo, as técnicas de P + L não devem ser entendidas como absolutas, mas sim, flexíveis, devendo ser adotadas caso a caso. Em todas elas, as mudanças tecnológicas necessariamente deverão reduzir os encargos ambientais gerados no processo de produção e

serão mais eficientes na redução dos custos, se comparadas às técnicas de fim de tubo (AL-YOUSFI, 2004).

Fresner (1998) ainda salienta que o processo de implementação de P + L pode levar tempo, pois não basta identificar as opções em que será possível incorporar a ferramenta, envolvendo tanto mudanças organizacionais como tecnológicas. Para tanto, é fundamental a liderança da gestão, assim como a implementação de práticas de um sistema de gestão ambiental, como a definição de uma equipe ambiental, a definição de uma política ambiental, a realização de auditorias de acompanhamento, entre outras.

Assim, modificar os processos tradicionais de produção com o objetivo de incorporar as questões ambientais de forma sistemática e eficaz torna-se o principal desafio da P + L, uma vez que exige mudanças não apenas nos procedimentos, mas também na maneira como as pessoas realizam suas atividades, o que nem sempre será alcançado de forma fácil. Por isso, é importante que as preocupações ambientais e os objetivos da estratégia sejam incorporados em todos os níveis (indústria, instituições, governos, consumidores, etc.) (AL-YOUSFI, 2004).

Diversas etapas necessárias para o desenvolvimento de projetos de P + L podem coincidir com etapas de um sistema de gestão ambiental ou um sistema de informação ambiental, como a ISO 14001. Entretanto, esses projetos ainda costumam exigir alguns documentos adicionais às normas, como, por exemplo, no que se refere à metodologia de entradas e saídas do processo, a documentação de pontos fracos, maior análise sobre os custos ambientais, entre outros. Em consequência, apesar de não serem suficientes, contribuem para a incorporação de sistemas de gestão ambiental (FRESNER, 1998).

Para a adoção dos sistemas de gestão, ainda se faz necessário: o envolvimento de todos os funcionários; a definição e descrição das responsabilidades; a definição do calendário de gestão e orçamentos com a incorporação do planejamento ambiental; a definição e descrição dos procedimentos; transparência e clareza da documentação; extensão das áreas sob consideração; comunicação, treinamento, equipamentos de medição; avaliação do sistema, e não somente do programa (FRESNER, 1998).

Contudo, não é possível aplicar os conceitos de gestão ambiental da mesma forma em todos os setores e indústrias. Segundo Hilson (2003), as atividades do setor de mineração têm capacidade de causar danos ambientais que podem afetar outros setores produtivos, sendo

difícil o uso de conceitos de gestão ambiental dada a própria natureza das operações de mineração. Em consequência, a P + L, nesse setor, deve ser compreendida como uma estratégia ambiental global, enfatizando melhorias nos processos de mineração e adoção de estratégias eficazes de gestão ambiental. Para isso, torna-se necessário avaliar constantemente os materiais que estão sendo consumidos (entrada nos processos), a estrutura das operações e as técnicas de eliminação de resíduos. Nesse setor, a P + L deve focar a gestão ambiental preventiva.

Por outro lado, embora a adoção de P + L nas empresas possa trazer uma série de vantagens, conforme PNUMA (2004), essa técnica também tem enfrentado barreiras em diferentes áreas:

- a) Na área governamental, observa-se: a falta de compromisso do governo em priorizar iniciativas de P + L em virtude do desinteresse da sociedade sobre as questões ambientais; a falta de apoio do poder legislativo e de legislação adequada que incentive ações preventivas; e a falta de conhecimento sobre as questões ambientais devido à ausência ou inadequação de diagnósticos ambientais que contribuam para elaboração de políticas de controle ambiental.
- b) No setor industrial, a falta de interesse por ações de P + L é decorrente da falta de conhecimento sobre alternativas tecnológicas e da priorização da resolução de problemas imediatos e atendimento da legislação de controle corretivo da contaminação. Além disso, a falta de estrutura organizacional adequada também é um problema identificado, principalmente, em pequenas e médias empresas. Ainda existem dificuldades para implementação de inovações em virtude da falta de linhas de crédito para o financiamento de ações de P + L.
- c) Na sociedade, de forma geral, observa-se a falta de conhecimento sobre a P + L, assim como, dificuldades em desenvolver e manter centros de pesquisa voltados para a produção de tecnologias limpas e materiais alternativos. Ademais, é possível observar a falta de coordenação e envolvimento entre os atores envolvidos (governo, indústria e sociedade).

Segundo o CNTL (2003a), estudos indicaram que, entre os principais problemas enfrentados por parte das empresas (principalmente em micro e pequenas empresas) para a adoção de P + L, estão: a) barreiras conceituais decorrentes da falta de conhecimento sobre o

conceito e o papel da empresa para a solução de mudanças; b) barreiras organizacionais, criadas pela estrutura organizacional inadequada, pela reduzida experiência dos envolvidos no processo e abrangência limitada de ações ambientais dentro da empresa; c) barreiras técnicas, devido à falta de uma base operacional sólida com a descrição das práticas de produção e à falta de informações sobre as técnicas de P + L; d) barreiras econômicas, pelo desconhecimento dos custos ambientais reais da empresa e o retorno inferior desse investimento se comparado às outras alternativas; e) barreiras financeiras, pela dificuldade de linhas de financiamento, falta de incentivos para a P + L e o elevado custo para investimentos de tecnologias; e, f) barreiras políticas, devido ao desenvolvimento insuficiente da estrutura de política ambiental e à falta de aplicação das políticas existentes.

No entanto, apesar dessas dificuldades, diversos estudos demonstram que a P + L tem sido incorporada cada vez mais no planejamento e gestão de diversos setores industriais, embora muito mais ainda possa ser feito. Em consequência, para analisar e avaliar o progresso das empresas em direção a sistemas mais sustentáveis, é fundamental que seja realizado o monitoramento dos impactos ambientais e sociais de forma regular, através do uso de indicadores (KLEMES; VARBANOV; HUISINGH, 2012).

No caso da ação de técnicas que visem à P + L, os indicadores são essenciais para fornecer informações sobre os aspectos gerenciais e tecnológicos, permitindo a medição de benefícios econômicos decorrentes de melhorias ambientais. O uso adequado desses indicadores, independente do modelo adotado, garante um maior conhecimento sobre a situação atual e tendências futuras, em relação aos parâmetros analisados. Isso contribui para um aprendizado interno e garante segurança na tomada de decisão pelos gestores, além de servir de mecanismo para a divulgação de informações para as partes interessadas (CARDOSO, 2004).

Em síntese, pode-se descrever a P + L como uma estratégia preventiva, de uso contínuo, que pode ser utilizada em diferentes momentos e setores empresariais. Ela busca a otimização do uso dos recursos, de modo a reduzir o consumo de materiais, a geração de resíduos e emissões, os perigos e riscos da atividade, minimizando, assim, os impactos e passivos ambientais, ao mesmo tempo em que permite o aumento da rentabilidade da empresa. Em consequência, essas ações tendem a contribuir para o alcance das condições de sustentabilidade, protegendo o meio ambiente, os trabalhadores e a sociedade de forma geral.

#### **2.4.2 Avaliação do Ciclo de Vida do Produto**

A maior preocupação com os impactos decorrentes da produção, do consumo e da necessidade de proteção ambiental tem contribuído para o desenvolvimento de métodos que permitam avaliar e melhorar a compreensão das consequências desses impactos. Entre esses métodos está a análise ou avaliação do ciclo de vida (ACV) de um produto ou serviço (ABNT, 2014).

A ACV busca analisar a relação complexa que existe entre um determinado produto e o meio ambiente, através da investigação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais relacionados ao ciclo de vida do produto (ABNT, 2014; CHEHEBE, 2002). Nos impactos ambientais considera-se a utilização de recursos, a saúde da população e as consequências ecológicas (ABNT, 2014).

Diante disso, as empresas também têm utilizado essa ferramenta visando melhorar o seu desempenho ambiental, pois esse ciclo demonstra a troca de materiais e energia com o meio ambiente. Através desse procedimento, busca-se realizar a avaliação ambiental do produto, desde a extração do material até a sua fabricação, seguida da sua utilização e finalmente, da sua reciclagem e descarte.

Essa avaliação incluiu tanto a realização da quantificação de entradas (materiais e energias), como de saídas (resíduos) do processo para todas as etapas do ciclo de vida de um produto. Inclui, também, uma avaliação dos impactos ambientais, em termos locais e globais e suas consequências sobre seres vivos, o meio ambiente, e as reservas de recursos (CALLISTER; RETHWISCH, 2013). Assim, a ACV pode ser caracterizada como uma ferramenta que auxilia na avaliação dos impactos ambientais de produtos ou serviços.

Um bem, para cumprir com sua função, precisa ser projetado, fabricado e chegar aos seus usuários. Para a fabricação de um produto, inicialmente é necessária a extração dos recursos naturais, os quais deverão ser transformados em materiais, componentes ou substâncias auxiliares, infraestrutura produtiva e mão de obra. No momento em que o produto perde sua utilidade, ele deve ser reciclado, reutilizado em outros bens ou descartado. No entanto, todas essas atividades desenvolvidas utilizam recursos e geram impactos ambientais.

Por isso, buscando identificar os impactos totais de um determinado produto ou serviço no meio ambiente, torna-se necessário realizar a avaliação do ciclo de vida (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005).

As escolhas e decisões de uma empresa podem influenciar diversos atores durante o ciclo de vida de um determinado produto. Em consequência, em um contexto de busca pela sustentabilidade, as empresas passam a ser não somente responsáveis pelos seus processos produtivos, mas também pelos processos desenvolvidos pelos seus fornecedores para atender as suas demandas. Em outras palavras, a responsabilidade envolve desde a cadeia de insumos (a montante) até o final da vida do produto (a jusante), pois uma empresa que tem por objetivo atuar em um contexto sustentável deve ter presente todos os impactos que sua atividade pode causar. Como a ACV leva em consideração uma perspectiva holística, ela se caracteriza como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão nas empresas que procuram desenvolver suas atividades em uma direção sustentável (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005).

Embora a metodologia para ACV tenha sido desenvolvida inicialmente no final da década de 1960 e início da década de 1970, período em que emergem os debates e as preocupações sobre os problemas ambientais em decorrência do processo de produção capitalista, conforme exposto anteriormente, é a partir da década de 1990 que diversos grupos de pesquisadores passam a preocupar-se com o desenvolvimento de uma metodologia padrão (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005).

Entre esses grupos, destaca-se a Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry - SETAC*), a qual, desde a década de 1970, tem promovido oficinas para a padronização dessa técnica, assim como, orientou as atividades de normatização internacional da Organização Internacional para Padronização (*International Organization for Standardization - ISO*) para os processos de ACV.

Como consequência, a ISO publicou quatro normas relacionadas à série de Gestão Ambiental, ISO 14000 (ISO 14040 a 14043<sup>9</sup>), nas quais são estabelecidas as exigências mínimas para a avaliação, de modo a aumentar a credibilidade dos resultados encontrados e sua utilização pelas indústrias e governos (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005).

---

<sup>9</sup> As NBR ISO 14041, 14042 e 14043 foram substituídas, em 2009, pela NBR ISO 14044- Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações, cuja versão foi corrigida em 2014.

Conforme a Norma Brasileira (NBR) ISO 14040/2014, a realização da ACV pode subsidiar:

- a identificação de oportunidades para a melhoria do desempenho ambiental de produtos em diversos pontos de seus ciclos de vida,
- o nível de informação dos tomadores de decisão na indústria e nas organizações governamentais ou não-governamentais (visando, por exemplo, ao planejamento estratégico, à definição de prioridades ou ao projeto ou reprojeto de produtos ou processos),
- a seleção de indicadores de desempenho ambiental relevantes, incluindo técnicas de medição, e
- o *marketing* (por exemplo, na implementação de um esquema de rotulagem ambiental, na apresentação de uma reivindicação ambiental ou na elaboração de uma declaração ambiental de produto) (ABNT, 2014, p. 6).

Além disso, o desenvolvimento de uma ACV é composto por quatro etapas: inicialmente, ocorre a definição de objetivo e escopo, ou seja, qual é a aplicação desejada, quem será o público alvo, quais as razões para a realização do estudo; após, é realizada a análise de inventário, por meio do levantamento de todos os dados sobre as entradas e saídas do sistema em estudo (coleta dos dados necessários para a realização da avaliação); na terceira fase é feita a avaliação dos impactos, com o objetivo de mensurar o impacto e a intensidade com que o meio natural estará sendo alterado; e, por fim, se faz a interpretação dos resultados (ABNT, 2014).

Dessa forma, a ACV é uma ferramenta que pode ser utilizada pelas empresas que desejam identificar oportunidades de melhorias em termos ambientais, uma vez que leva em consideração as diferentes etapas de um sistema produtivo, auxiliando na redução do consumo de recursos e na geração de resíduos.

Ademais, diante da revisão teórica desenvolvida neste capítulo, pode-se destacar que, embora não exista um consenso sobre a concepção e os conceitos de sustentabilidade, seu uso tem sido difundido tanto na literatura como em discussões diárias devido à crescente preocupação com degradação dos ambientes naturais e a possibilidade de esgotamento de recursos.

Nesse cenário, as empresas, principais responsáveis pela produção de bens e serviços que satisfazem as necessidades humanas, também são apontadas como as principais responsáveis pela degradação dos ambientes naturais. Por isso, para garantir a continuidade das atividades, elas precisam tornar seus processos produtivos mais sustentáveis.

Além disso, a complexidade do planeta, formado por diversos subsistemas que interagem entre si, tem requerido que a sustentabilidade seja analisada a partir do paradigma holístico, levando em consideração diferentes dimensões. Neste trabalho, optou-se por considerar o conceito de sustentabilidade a partir das três dimensões propostas por Elkington (2012): ambiental, econômica e social. São dimensões tradicionais utilizadas em abordagens direcionadas a empresas e organizações, somadas à dimensão tecnológica, uma vez que é fundamental a incorporação de tecnologias para o uso mais eficiente dos recursos e a minimização dos impactos gerados pelas atividades.

Assim, entende-se que a sustentabilidade empresarial será alcançada se o empreendimento: for economicamente viável, atendendo aos interesses dos proprietários; desenvolver suas atividades em um contexto ambientalmente correto, respeitando os limites naturais; contribuir para o desenvolvimento social da comunidade onde atua; e, ainda, for capaz de inovar, introduzindo tecnologias limpas no processo produtivo de modo a maximizar os resultados obtidos a partir de determinado consumo de recursos, sem desrespeitar os limites da natureza e da sociedade.

Para atingir esses objetivos, as empresas podem adotar estratégias que conduzam ao alcance de condições mais sustentáveis, tais como a P + L e a ACV, as quais possibilitam que os processos produtivos tornem-se mais eficientes. Também podem utilizar indicadores de sustentabilidade que permitam o acompanhamento e o monitoramento na busca de condições mais sustentáveis, embora o seu uso não seja condição suficiente para a sustentabilidade de fato.

### **3 SETOR DE GEMAS**

Desde a antiguidade, a mineração é considerada uma atividade importante para o homem, visto que é uma fonte de renda e de geração de empregos, contribuindo, assim, para o desenvolvimento das sociedades. Os minerais também são utilizados como matérias-primas em um grande número de indústrias.

Contudo, sua extração e beneficiamento em um contexto sustentável têm gerado desafios às indústrias, pois as operações extrativas costumam causar uma série de impactos ambientais, entre os quais o esgotamento de recursos não renováveis, modificações nas paisagens, e, se comparadas à maioria das empresas, maiores ameaças à saúde e à segurança dos trabalhadores e dos cidadãos (AZAPAGIC, 2004; HILSON, 2000). Embora nas últimas décadas as normas ambientais tenham contribuído para a redução da poluição e dos resíduos em minas, ainda há a necessidade de incorporação de muitas melhorias, que podem ser alcançadas com a integração de tecnologias limpas e práticas de P + L (HILSON, 2000).

Nesse sentido, Azapagic (2004) afirma que a indústria de mineração e minerais tem promovido debates e elaborado estratégias visando atender aos desafios de uma produção sustentável. Para a autora, a maior preocupação dessa indústria é demonstrar que contribuiu para o bem-estar da geração atual, mas sem comprometer o potencial de uma melhor qualidade de vida das futuras gerações.

O setor de gemas e joias faz parte da indústria de minerais e mineração e se destaca em algumas regiões do Brasil, como no estado do Rio Grande do Sul (RS), local onde este trabalho foi desenvolvido. Essa atividade engloba: o segmento de extração ou mineração de matéria-prima; a indústria de lapidação e artefatos de gemas; a indústria de joalheria e

bijuteria; e a comercialização no mercado interno e externo dos produtos.

Nesse contexto, o presente capítulo tem por objetivo caracterizar o setor de gemas e joias no RS. Inicialmente são analisados dados relativos à produção, comercialização e faturamento desse setor, tanto no contexto nacional, como no contexto estadual, com o objetivo de dimensionar a importância da atividade para a economia. Também são apresentados dados sobre o mercado de trabalho e a localização dos estabelecimentos no Estado. Posteriormente são descritas as principais características e dificuldades enfrentadas pelas empresas que integram o setor de gemas e joias.

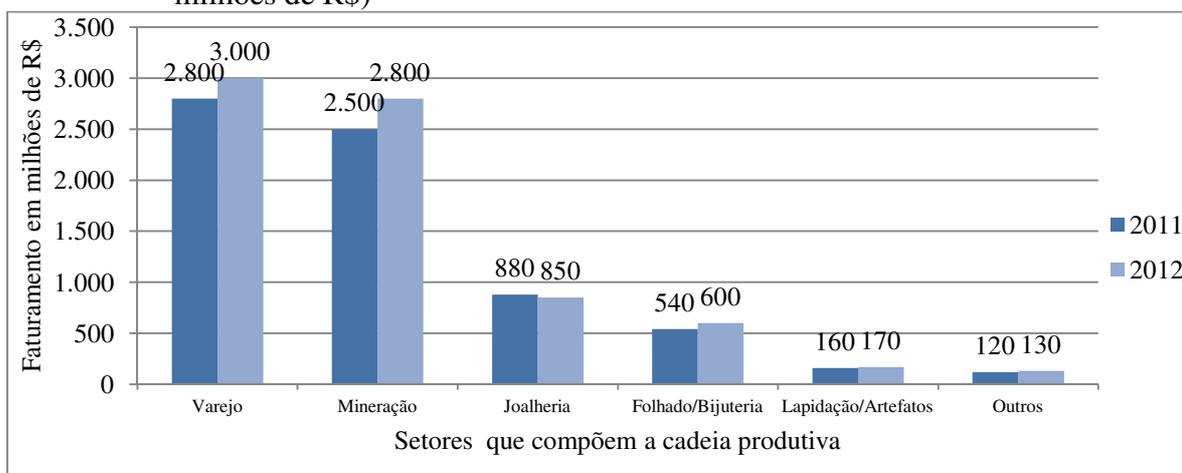
E, por último, é apresentada a legislação incidente sobre o setor no que se refere ao tratamento e disposição de resíduos decorrentes do processo produtivo, os quais têm se tornado um passivo ambiental para as empresas. Nesse sentido, é feita a classificação dos resíduos de acordo com as normas em vigor, assim como, são descritas as ações que as empresas devem adotar. Além disso, também são analisados estudos anteriores, com o objetivo de encontrar alternativas para o tratamento do resíduo sólido.

### **3.1 A produção e importância econômica do setor**

O Brasil destaca-se pela variedade de gemas encontradas em seu território, visto que possui uma das maiores províncias gemológicas. Estimativas indicam que o país seja responsável por um terço da produção de gemas mundial, exceto na produção de diamantes, rubis e safiras. Em função disso, é possível observar que a sua extração ocorre na maioria dos estados, com maior intensidade em Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Bahia, Goiás, Pará e Tocantins (IBGM, 2013; BARRETO; BITTAR, 2010).

Em 2011, a cadeia produtiva de gemas e joias no Brasil apresentou um faturamento estimado de R\$ 7 bilhões e, em 2012, R\$ 7,55 bilhões, o que demonstra um crescimento de 7,8% no período. Dentre os setores que compõem a cadeia, destaca-se o varejo, que em 2012 foi responsável por 42,8% do faturamento, e a mineração, que contribui com 40% do total comercializado, conforme pode ser observado no Gráfico 01.

Gráfico 01 – Faturamento estimado da cadeia produtiva de gemas e joias em 2011-2012 (em milhões de R\$)



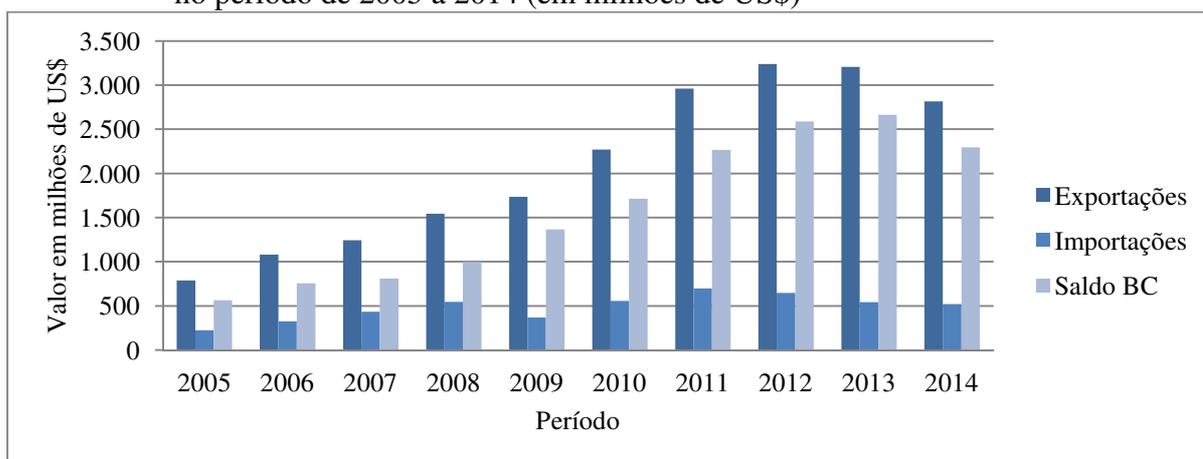
Fonte: IBGM (2013, p. 2).

(\*) Produtos de metal precioso para indústria e outros

(\*\*) Inclui exportações

A cadeia produtiva de gemas e joias também tem sido uma importante fonte de divisas para o país, visto que tem proporcionado saldos positivos na balança comercial (GRÁFICO 02). Entre 2005 e 2014, as exportações do Capítulo 71 da Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM)<sup>10</sup>, em que são registradas as atividades do setor, cresceram 257,48%, passando de US\$ 788,91 para US\$ 2.817,62 milhões. Esse desempenho poderia ter sido ainda melhor caso não houvesse ocorrido uma redução nas exportações nos dois últimos períodos.

Gráfico 02 – Exportações, importações e saldo da balança comercial do Capítulo 71 da NCM no período de 2005 a 2014 (em milhões de US\$)



Fonte: Elaborado pela autora a partir da base de dados Aliceweb (BRASIL, 2015a).

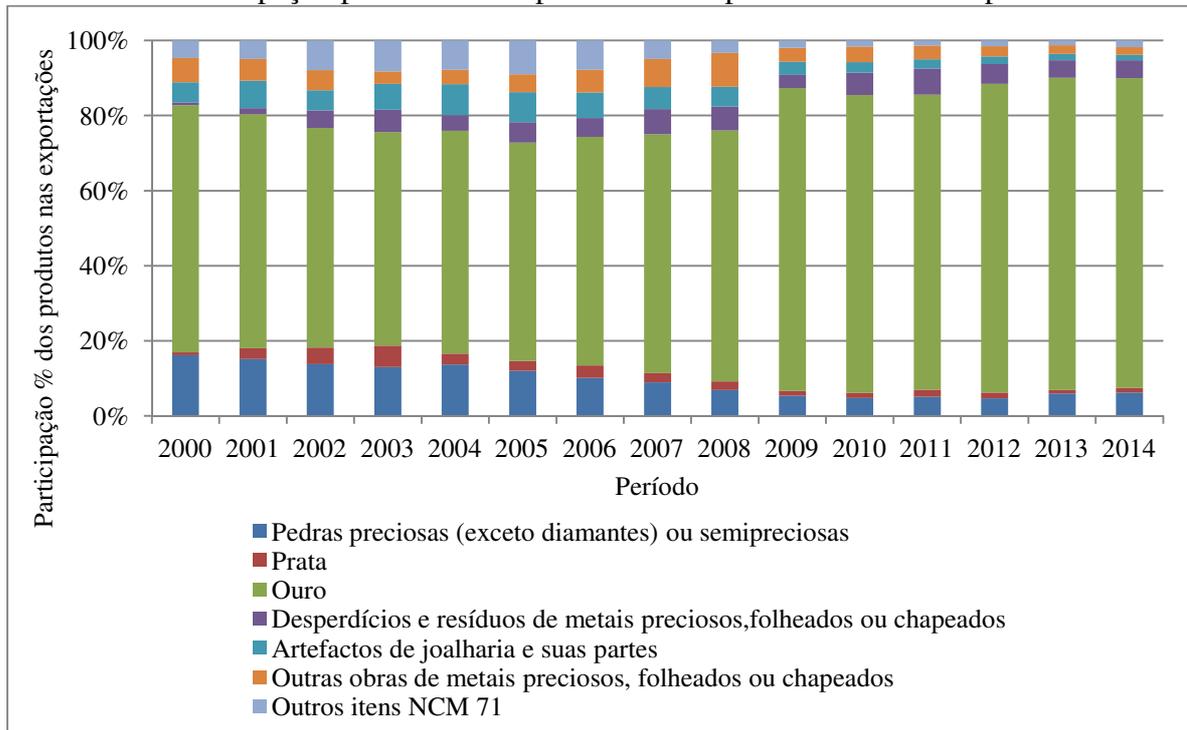
As importações, no mesmo período, apresentaram valor e crescimento

<sup>10</sup> Neste capítulo são registradas as informações relativas ao comércio de pérolas naturais ou cultivadas, pedras preciosas ou semipreciosas e semelhantes, metais preciosos, metais folheados ou chapeados de metais preciosos (plaquê), e suas obras, bijuterias e moedas.

significativamente inferiores, se comparadas às exportações, na ordem de 133,83%. Além disso, seu desempenho foi mais vulnerável, já que em alguns anos é possível observar crescimentos e, em outros, decréscimos. Contudo, ao longo de todo o período é possível observar a obtenção de sucessivos e crescentes superávits na balança comercial deste setor, com exceção do último ano, quando ocorreu uma redução se comparado a 2013. Apesar dessa redução, o superávit neste ano foi na ordem de US\$ 2.296 milhões.

Em relação às exportações brasileiras, o principal produto exportado em valor refere-se ao ouro, que representou 82,5%, seguido pelo segmento de pedras preciosas<sup>11</sup> (exceto diamante) ou semipreciosas, com 6,2%, conforme pode ser observado no Gráfico 03. Por outro lado, em termos de volume (peso), a representatividade é diferente. Neste caso, 75,2% referem-se a pedras preciosas (exceto diamante) ou semipreciosas e 20,3% a desperdícios e resíduos de metais preciosos, folheados ou chapeados, demonstrando que esses materiais são comercializados a preços reduzidos, sem muito valor agregado.

Gráfico 03 – Participação percentual dos produtos do capítulo 71 no total exportado em valor



Fonte: Elaborado pela autora a partir da base de dados Aliceweb (BRASIL, 2015a).

Contudo, cabe ainda mencionar que os dados sobre as reservas minerais e as atividades desenvolvidas por esta cadeia no mercado interno são praticamente inexistentes ou mal dimensionadas. Isso pode ser verificado ao comparar os dados das exportações brasileiras

<sup>11</sup> Esta nomenclatura é utilizada pelos órgãos governamentais para se referir a gemas.

com os dados constantes no Sumário Mineral Brasileiro (BRASIL, 2014a), no qual consta, para alguns setores, uma produção inferior ao valor exportado em determinados anos.

O mesmo fato é salientado por Barreto e Bittar (2010). Para os autores, os valores de produção podem ser ainda maiores, pois afirmam que é difícil mensurar o valor da produção de gemas no país em virtude da informalidade e contrabando presentes na atividade, que é resultado da carga tributária<sup>12</sup> que incide na venda de gemas e joias no mercado nacional.

Em relação ao mercado de trabalho, estima-se que essa cadeia produtiva tenha gerado aproximadamente 310.000 empregos diretos em 2009, dos quais 29% no setor de garimpo de mineração, 19% na indústria e 52% no setor de varejo. Esses empregos foram ofertados em cerca de 18.000 empresas, sendo deste total 22% de indústrias e 78% do setor de varejo (IBGM, 2012).

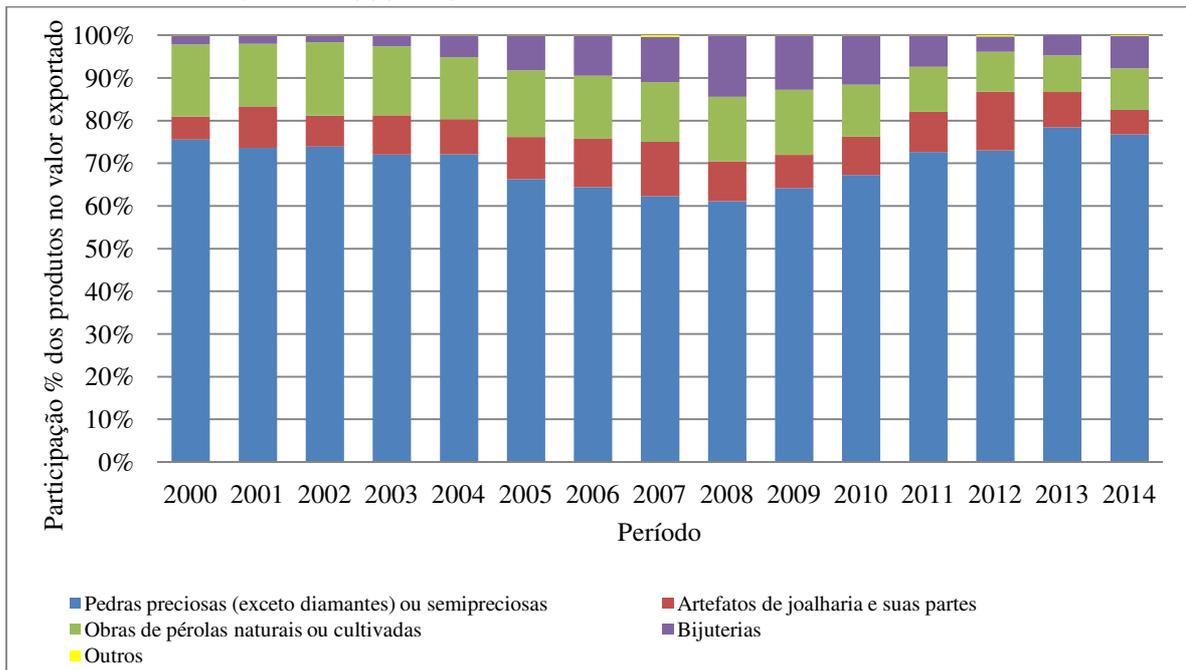
Já no RS, as exportações em pérolas naturais ou cultivadas, pedras preciosas, semipreciosas ou sintéticas, metais preciosos ou folheados, em 2014, somaram o montante de US\$ 84,41 milhões, o que representou 3% do total exportado pelo país (BRASIL, 2015a).

No Estado, diferentemente do observado no país, o principal produto em termos de valor exportado refere-se a pedras preciosas (exceto diamante) ou semipreciosas (76,8% do total), seguido pelas obras de pérolas naturais ou cultivadas (participação de 9,7%) (GRÁFICO 04). E, quando se analisa em termos de volume, as exportações são essencialmente de pedras preciosas (exceto diamante) ou semipreciosas, as quais foram responsáveis por 94,8%.

---

<sup>12</sup> Essa afirmação não se aplica para as empresas de pequeno porte que atuam neste setor, pois, de forma geral, estas são enquadradas no Simples Nacional, o qual é um regime compartilhado de arrecadação, cobrança e fiscalização de tributos aplicável às Microempresas e Empresas de Pequeno Porte, conforme previsto na Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006. No entanto, as empresas de maior porte são submetidas ao enquadramento de tributação a partir da apuração do seu lucro real ou do lucro presumido (esta opção é válida somente se o faturamento anual não exceder R\$ 78 milhões). Em ambos os casos, quando os produtos forem exportados (capítulo 71), estes serão isentos de PIS e COFINS, não há a incidência de ICMS, além de serem imunes ao IPI. No entanto, quando a mercadoria for destinada ao mercado interno, por tratar-se de um bem supérfluo, este será tributado de maneira diferenciada, sendo o ICMS neste caso de 25%, ao invés dos 17% incidentes sobre os produtos tradicionais (estas alíquotas são as praticadas no RS). Em relação ao IPI, os produtos decorrentes do beneficiamento de gemas são não tributáveis. E, em termos de PIS e Cofins, as alíquotas aplicáveis são 3,65%, quando lucro presumido, e 9,25% quando apurado a partir do lucro real (BRASIL, 2015c; RIO GRANDE DO SUL, 2015). Assim, em síntese, observa-se que a carga tributária não é tão diferenciada das demais atividades econômicas, a não ser quando tratar-se de uma empresa de grande porte; no entanto, como muitas empresas atuam na informalidade, estas acabam sendo mais competitivas no mercado se comparadas àquelas que registram formalmente suas ações e pagam os tributos incidentes sobre a atividade.

Gráfico 04 – Participação percentual dos produtos do capítulo 71 no total exportado em valor no RS entre 2000 e 2014



Fonte: Elaborado pela autora a partir da base de dados Aliceweb (BRASIL, 2015a).

Segundo Barreto e Bittar (2010), o RS é o maior produtor de gemas coloridas sem cortes no Brasil e um dos principais produtores de ágata e ametista. O estado também exporta citrino, formado a partir do aquecimento da ametista, causando a oxidação do ferro e consequente mudança de cor (BARRETO; BITTAR, 2010).

As ágatas são encontradas em geodos ovais de vários tamanhos, dentro de basalto, localizados em rochas vulcânicas do período Cretáceo, na Formação da Serra Geral, associados com as extensas cordilheiras basálticas da bacia do rio Paraná (BARRETO; BITTAR, 2010). Elas são classificadas como uma variedade do quartzo, e podem ser encontradas em rochas arredondadas, as quais são constituídas, de fora para dentro, por camadas de fibras microcristalinas de calcedônia, além de uma camada micro e macrocristalina de quartzo e um espaço vazio central (WANG; MERINO, 1990).

Além disso, conforme a Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), em 2013 existiam, no Estado, 475 estabelecimentos responsáveis pela extração de gemas, fabricação de produtos minerais, metalurgia de metais preciosos, lapidação de gemas, e fabricação de bijuterias e artefatos semelhantes (TABELA 01) (BRASIL, 2015b).

Tabela 01 – Número de estabelecimentos com atividades produtivas vinculadas ao setor de gemas e joias no RS

|  | 2006       | 2007       | 2008       | 2009       | 2010       | 2011       | 2012       | 2013       |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Extração de Gemas (Pedras Preciosas e Semipreciosas)                             | 7          | 10         | 4          | 4          | 2          | 3          | 3          | 3          |
| Fabricação de Produtos de Minerais Não-Metálicos não Especificados Anteriormente | 117        | 107        | 114        | 112        | 112        | 123        | 118        | 103        |
| Metalurgia dos Metais Preciosos  | 15         | 10         | 9          | 11         | 13         | 12         | 14         | 14         |
| Lapidação de Gemas e Fabricação de Artefatos de Ourivesaria e Joalheria          | 275        | 278        | 279        | 278        | 283        | 284        | 282        | 291        |
| Fabricação de Bijuterias e Artefatos Semelhantes                                 | 18         | 31         | 40         | 42         | 44         | 49         | 53         | 64         |
| <b>Total RS</b>  | <b>432</b> | <b>436</b> | <b>446</b> | <b>447</b> | <b>454</b> | <b>471</b> | <b>470</b> | <b>475</b> |

Fonte: Elaborado pela autora a partir da base de dados da RAIS (BRASIL, 2015b).

Quanto à localização desses estabelecimentos, estão concentrados em alguns municípios, de acordo com a atividade. Em 2012, a extração de gemas ocorria em 3 municípios, mas em Salto do Jacuí concentravam-se 95% das empresas. A fabricação de produtos minerais não metálicos concentrava-se em Bento Gonçalves, Lajeado e Caxias do Sul, onde se localizavam 12,5%, 12,2% e 11,3% dos estabelecimentos, respectivamente. A metalurgia dos metais preciosos ocorria essencialmente nos municípios de Guaporé e Erechim (47,8% e 39,1% dos estabelecimentos, respectivamente). Já a lapidação ocorria em 45 municípios, mas aproximadamente metade dos estabelecimentos localizava-se em Guaporé. O município de Guaporé ainda concentra as empresas de bijuterias e artefatos semelhantes (74,4% dos estabelecimentos). E, considerando o conjunto das atividades, pode-se observar que 67% dos estabelecimentos estavam localizados nos municípios de Guaporé, Soledade, Ametista do Sul, Caxias do Sul, Porto Alegre e Lajeado.

Esses estabelecimentos foram responsáveis pela geração de 4.606 empregos diretos (BRASIL, 2015b), o que demonstra que a maioria caracteriza-se como micro e pequenas empresas, visto que o número médio de funcionários por estabelecimento foi igual a 10. Essa característica também ocorre no Brasil, onde, segundo estimativas do IBGM (2013), mais de 96% das empresas do setor classificam-se como micro e pequenas empresas.

### 3.2 Características e dificuldades do setor de beneficiamento de gemas

No RS, a maior parte das atividades de fabricação de artefatos e beneficiamento de gemas (o polimento, a martelação, o tingimento, a lapidação, dentre outras) é realizada por

empresas de pequeno porte que atuam principalmente na informalidade. Além disso, essas fábricas realizam as atividades sem a devida padronização, ofertando seus produtos a preços não competitivos. Por outro lado, a maioria das empresas maiores atua como centros de comercialização, ou seja, compram a matéria-prima, terceirizam os processos de industrialização em empresas menores e comercializam os produtos através de grandes redes de atacado e varejo ou de agentes de exportação (BATISTI; TASCH, 2012).

De acordo com o IBGM (2005), embora o setor de gemas e joias se destaque no cenário nacional e internacional, as organizações pertencentes ao setor têm desenvolvido suas atividades em meio a diversas dificuldades, entre as quais: a) a incidência de uma elevada carga tributária, que desestimula as empresas a atuarem no mercado formal e a realizarem investimentos; b) a baixa produtividade e falta de padronização decorrente do uso reduzido de tecnologias na extração de gemas e da baixa capacitação dos lapidários, aumentando a geração de resíduos e os custos de produção, implicando, assim, em produtos com baixo valor agregado; c) o reduzido volume de investimentos por parte do setor público e a falta de desenvolvimento de estudos que quantifiquem a magnitude e o potencial das reservas brasileiras; d) o prazo e os obstáculos existentes para o desenvolvimento da atividade no que se refere à obtenção de licenças ambientais junto aos órgãos responsáveis (IBGM, 2005).

Para Batisti e Tasch (2012), os principais problemas enfrentados pelo Arranjo Produtivo Local (APL) gaúcho de gemas e joias são: as inadequadas condições de trabalho nos garimpos, o uso de tecnologias defasadas, a reduzida produtividade, a comercialização de produtos com baixo valor agregado e a falta de padronização das empresas, em especial as de lapidação, resultando na oferta de produtos sem preços competitivos. Ademais, a falta de padronização tem contribuído para que a indústria joalheira do estado opte pela não utilização de gemas em suas peças e, quando o faz, adquire-as de outros estados ou países (BATISTI; TASCH, 2012).

Folle et al. (2010) também destacaram o baixo valor agregado dos minerais como um dos fatores responsáveis pela não regularização da atividade, além de outros fatores como o custo elevado para a obtenção das licenças ambientais junto aos órgãos responsáveis e a existência do risco, visto que as reservas em algumas áreas destinadas poderão ser pequenas, não compensando a realização do investimento.

Storti e Mazon (2011) estudaram as características e as atividades realizadas pelo setor de gemas em Soledade/RS e identificaram que o emprego de tecnologia é considerado relativamente baixo, pois nas empresas de beneficiamento são encontradas apenas algumas máquinas de corte, serra e polimento. Além disso, parte dos conhecimentos empregados na atividade é passada de geração em geração, não havendo novas especializações.

Esses autores ainda observaram que um número reduzido de empresas atua no mercado buscando alguma diferenciação. Por esse motivo, a introdução de inovações ocorre motivada por fatores internos às organizações. Em algumas empresas pioneiras, que atuam por meio de uma estrutura verticalizada, é possível observar a realização de investimentos em inovação com certa frequência, em especial nos anos mais recentes, devido às variações cambiais e mudanças na comercialização dos produtos. E, nestes casos, a incorporação de inovações esteve associada a produtos, máquinas, equipamentos, design, logística e embalagens, melhorando o nível de produtividade, ao mesmo tempo em que houve redução do número de funcionários (chegando até a 70% em algumas empresas). Por outro lado, nas empresas mais novas, a introdução de inovações está associada a determinados nichos de mercado e gemas específicas, provenientes de outras regiões, como, por exemplo, o Uruguai, garantindo assim sua diferenciação no setor (SORTI; MAZON, 2011).

Recentemente, o IBGM, em parceria com o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), coordenou a realização do planejamento estratégico e operacional de alguns APL's do setor, entre os quais se encontrava o de Guaporé/RS. Para a região, foram apontadas como principais fraquezas: a) alta informalidade da cadeia produtiva; b) qualificação não suficiente dos trabalhadores do setor; c) gestão não profissionalizada das empresas; d) reduzido envolvimento entre os empresários; e) reduzida capacidade de produção; f) necessidade de capital de giro para a maioria das empresas; g) necessidade de maior conhecimento de processos de internacionalização; h) dificuldades na abertura de novos mercados, devido à ausência de recursos ou de iniciativa; e, i) reduzida competitividade em comparação aos produtos estrangeiros (IBGM, 2015).

Além disso, ainda foi observada a existência de outras fraquezas como: a elevada rotatividade dos trabalhadores na cadeia produtiva; a não competitividade do produto no mercado brasileiro; o não acompanhamento dos programas de educação e capacitação profissional para as novas competências solicitadas pelo mercado; a não preparação das empresas para introdução de novos modelos de negócio (franquias, *e-commerce*, marcas

coletivas, etc.); dificuldades de incorporação de tecnologias inovadoras, devido aos reduzidos investimentos em pesquisa e desenvolvimento (design próprio, produtos e processos) tanto pelas empresas, como pelas instituições de ensino e pesquisa relacionadas ao setor; a desconfiança e/ou desinformação dos órgãos de fiscalização com as práticas comerciais do setor; o baixo conhecimento técnico dos profissionais do varejo sobre os produtos; a reduzida participação dos agentes envolvidos na cadeia de gemas e joias nas diversas entidades representativas do setor no estado e no país; e, ainda, a falta de segurança das empresas para manterem relações com órgãos reguladores e fiscalizadores (IBGM, 2015).

Para Zanatta (2014), o setor ainda é influenciado por diversos fatores externos que não estão sujeitos à ação local, como as variações cambiais, a demanda do mercado externo e as tributações, fatores estes que comprometem diretamente o desempenho das atividades.

Diante desse quadro, é possível afirmar que, apesar da importância das empresas de beneficiamento de gemas em termos econômicos nas regiões em que estão instaladas, elas precisam realizar aprimoramentos nos processos de produção e investimentos em tecnologias, buscando melhorias no fluxo de materiais e a redução das perdas. Além disso, o setor ainda tem enfrentado dificuldades para atender a legislação e a gestão do passivo ambiental decorrente da atividade.

### **3.3 A legislação e o passivo ambiental do setor**

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), regulamentada através da Lei 12.305 de 02/08/2010 e do Decreto 7.404 de 23/12/2010, estabelece que todos os agentes que compõem a sociedade (cidadãos, governos, setor privado, sociedade civil organizada) são responsáveis pela gestão ambientalmente correta dos resíduos sólidos gerados. O setor privado, além de ser responsável pelo gerenciamento dessas atividades, também se tornou responsável pela reincorporação desses resíduos na cadeia produtiva e pela incorporação de inovações nos produtos que possam trazer, na medida do possível, benefícios socioambientais (BRASIL, 2010).

Os principais objetivos da PNRS (BRASIL, 2010, texto digital), são:

I - proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; II - não geração, redução,

reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; III - estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; IV - adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais; V - redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos; VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados; VII - gestão integrada de resíduos sólidos; [...]; XIII - estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto; XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético; XV - estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

Diante desse contexto, pode-se observar que as indústrias são responsáveis pela correta destinação dos resíduos gerados em seus processos produtivos e, por isso estão se empenhando na busca por alternativas mais sustentáveis.

Nos processos de beneficiamento de gemas, são gerados diferentes tipos de resíduos sólidos e líquidos, entre os quais se destacam os restos e cacos de gemas, o lodo decorrente das etapas de corte e os efluentes gerados nos processos de tingimento (BRUXEL, 2011; BEDIN, 2014). O resíduo formado por gemas moídas, embora represente uma perda de recursos naturais escassos, é um resíduo de baixo impacto ambiental e pode ser depositado no meio ambiente natural, após passar por processo de lavagem para a retirada do óleo, ao contrário do impacto gerado pelo lodo e pelos efluentes. E, de maneira complementar, Silva e Schneider (2015) destacam que um grupo de indústrias estão utilizando esses fragmentos de ágatas para produzir enfeites e adornos pessoais com diferentes características das peças tradicionais.

O lodo pode causar sérios impactos ambientais devido à presença do óleo diesel marítimo utilizado como lubrificante nos processos de corte. Esse óleo, composto principalmente por hidrocarbonetos saturados (parafínicos ou naftênicos) ou aromáticos, é considerado um produto inflamável, tóxico, irritante à pele, podendo provocar ou induzir o surgimento de câncer e ser perigoso quando aspirado (PETROBRAS, 2014).

Conforme a PNRS, que também classifica os resíduos sólidos quanto a sua origem e periculosidade, o lodo classifica-se como um resíduo industrial, pois o mesmo é gerado nos processos produtivos e nas instalações industriais<sup>13</sup>. Além disso, quanto à periculosidade,

---

<sup>13</sup>De acordo com a Resolução CONAMA n° 313/2002, “Resíduo Sólido Industrial é todo resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido, gasoso - quando contido, e líquido – cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam

classifica-se como um resíduo perigoso, devido a “suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentando significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica” (BRASIL, 2010, texto digital).

E, de acordo com a NBR 10004/2004, esse resíduo é classificado como Classe I - Perigosos, ou seja, apresenta periculosidade ou uma das características descritas como de: risco à saúde pública, risco ao meio ambiente, toxicidade, agente tóxico, toxicidade aguda, agente teratogênico, agente mutagênico, agente carcinogênico ou agente ecotóxico (ABNT, 2004).

No Rio Grande do Sul, a Portaria nº 16/2010 da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) estabeleceu que resíduos com características de inflamabilidade, tais como borras oleosas, borras provenientes de processos petroquímicos ou depositados em tanques de combustíveis, materiais associados a filtros de combustíveis e lubrificantes, solventes, entre outros, não fossem mais encaminhados para sistemas de destinação final de resíduos denominados “aterro de resíduos Classe I” e “central de recebimento e destinação de resíduos Classe I” (FEPAM, 2010a, p. 1).

A portaria ainda estabelece que esses resíduos devem ser destinados a unidades licenciadas de reprocessamento, recuperação, reciclagem, tratamento biológico, coprocessamento em fornos de clínquer, e sistemas de tratamento térmico (incineração). As centrais de recebimento de resíduos Classe I somente poderão receber resíduos que tenham passado por um sistema licenciado de pré-tratamento ou mistura, ou se possuírem setor de separação e armazenagem temporária também licenciada ou, ainda, se os resíduos forem resultado de poluição acidental, mas neste caso, deverão possuir autorização do órgão ambiental competente (FEPAM, 2010a).

Por isso, se não tratado, o lodo proveniente dos processos de beneficiamento de gemas precisa ser encaminhado para um aterro ou central de recebimento e destinação de resíduos Classe I, também denominado aterro de resíduos industriais perigosos (ARIP), ou ainda, ser encaminhado para unidades licenciadas de reprocessamento, recuperação, reciclagem, tratamento biológico, coprocessamento, dependendo das características do resíduo gerado quanto ao grau de inflamabilidade, implicando em geração de custos, além de representar um

---

incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição” (CONAMA, 2002, texto digital).

passivo ambiental para a empresa. Em consequência, é possível observar que as empresas do setor estão acumulando esse lodo em tonéis nos pátios das empresas enquanto buscam encontrar alternativas mais viáveis e um destino ambientalmente mais adequado (BEDIN, 2014).

Além disso, as empresas ainda são obrigadas a elaborar o Plano de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos, no qual deverá constar a descrição da atividade desenvolvida; o diagnóstico dos resíduos sólidos gerados, com informações quantitativas e qualitativas a respeito de sua origem, volume e características; a identificação dos responsáveis pelo gerenciamento; as metas para a minimização da geração de resíduos, reúsos e reciclagens, a identificação de soluções, entre outros.

Analisando estudos anteriores, é possível encontrar algumas alternativas para o tratamento do lodo, de modo a conceder-lhe um destino mais adequado que o seu encaminhamento para um aterro, contribuindo, assim, para a preservação do meio ambiente.

Uma proposta de tratamento do resíduo formado pelo lodo é encontrada em Cecchin (2011) e Thomé, Cecchin e Freitas (2012), que propõem a descontaminação do resíduo com a aplicação do método *Soil Washing* modificado (sistema adaptado de lavagem de solo). Esse método busca remover os poluentes encontrados no resíduo com o uso de soluções de hidróxido de sódio em diferentes concentrações. Esse método contribui para a separação parcial do óleo, porém, ao final do processo, tem-se a geração de um segundo lodo resultante da saponificação do óleo presente no lodo estudado, que não pode ser reciclado.

Eidelwein (2012), em seu trabalho, sugere o tratamento do resíduo com éter de petróleo, que é um solvente apolar de baixo preço e de fácil acesso às empresas. Esse processo permite a separação do óleo e dos restos de gema (resíduo seco), o que possibilita a reutilização do óleo no processo produtivo, introduzindo, assim, técnicas de uma P + L e contribuindo para a redução da contaminação ambiental. O resíduo formado pelos restos das gemas (rico em sílica), por sua vez, o qual chega seco e fino ao final do tratamento, sem resíduos de óleo, pode receber uma destinação mais nobre, ao invés do encaminhamento ao aterro sanitário. Por essa razão, esta alternativa apresenta vantagens em relação ao método anterior.

Uma alternativa para a reciclagem do resíduo seco é encontrada nos trabalhos de Bruxel (2011) e Bruxel et al. (2012), os quais propõem a sua incorporação na massa cerâmica.

Isso é possível dadas as características comuns apresentadas pelo lodo e pela argila, visto que ambos possuem em sua composição uma quantidade expressiva de sílica. Nos trabalhos foram desenvolvidos testes incorporando diferentes quantidades de lodo na massa cerâmica, sendo os corpos de prova produzidos em escala industrial, o que possibilitou a obtenção de resultados mais confiáveis. O melhor resultado obtido foi com a incorporação de 5% de lodo à massa cerâmica. O uso de percentuais superiores poderia comprometer a qualidade, a resistência e a estética do tijolo, além de gerar um maior desgaste dos equipamentos, elevando o custo de produção, o que resultaria em uma produção não sustentável do ponto de vista financeiro.

Para Bruxel (2011), a incorporação do resíduo na massa da cerâmica vermelha representa um destino final ambientalmente correto, que contribui para a inertização de elementos potencialmente tóxicos. Além disso, ainda observa que esse procedimento pode gerar retornos financeiros tanto para a empresa beneficiadora de gemas, a qual reduz o seu gasto para tratá-lo e dar-lhe o destino correto, como para a empresa produtora de cerâmica, que necessita comprar uma quantidade inferior de argila utilizada no processo de produção da cerâmica.

O resíduo seco, sem óleo, por ser um material composto principalmente por sílica também pode ser utilizado em aterros de terrenos ou como agente abrasivo misturado ao pó de trípole em indústrias com estrutura organizada (SILVA; SCHNEIDER, 2015; FOLLE et al., 2015).

Outro resíduo decorrente do processo de beneficiamento das gemas são os efluentes gerados nos processos de tingimento. Embora as ágatas apresentem naturalmente padrões e cores distintas, elas são, com certa frequência, submetidas a processos de tingimentos, nos quais são utilizados corantes orgânicos sintéticos, tais como rodamina-B ou cristal violeta, a fim de melhorar ou transformar sua aparência. Em consequência, esses efluentes apresentam alto grau de toxicidade (MACHADO; STÜLP, 2013). Contudo, como a empresa colaboradora deste estudo não tem licença para operar com tingimento de gemas, o tratamento desse resíduo não foi objeto deste estudo.

Na literatura também é possível encontrar trabalhos que indicam a necessidade de recuperação e tratamento do lodo, mas com tecnologias pouco sofisticadas (HOUSTON GEM AND MINERAL SOCIETY, 2007; GEM CUTTERS NEWS, 2011).

Diante do exposto, observa-se a importância que o setor de gemas tem em termos de geração de valor e de empregos para a economia das regiões em que é desenvolvida, em especial para o RS, que é um dos principais estados produtores do país. Apesar disso, as atividades extrativas e de beneficiamento costumam causar graves impactos ambientais, pois consomem um volume significativo de recursos naturais não renováveis e geralmente ocorrem em um contexto não sustentável, devido ao significativo volume de resíduos gerados, além de agregarem um baixo valor aos produtos beneficiados.

Além disso, esse setor também tem enfrentado uma série de outras dificuldades, tais como: informalidade; baixa produtividade e falta de padronização devido ao uso de tecnologias defasadas e à falta de especialização e treinamento; reduzido volume de investimentos; falta de capacitação dos gestores empresariais; alto custo para a obtenção de licenças ambientais e obstáculos para regularização da atividade.

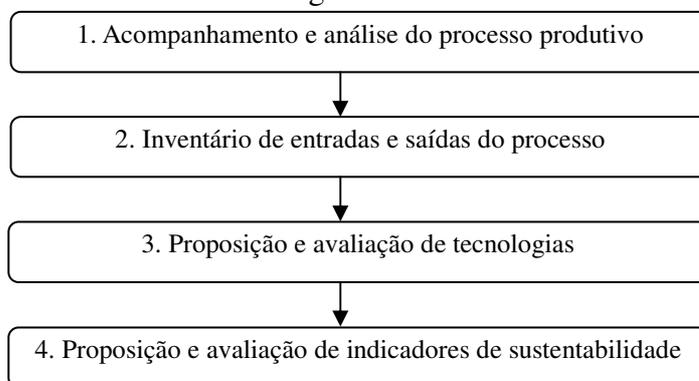
A legislação incidente sobre o setor estabelece ainda que as empresas são responsáveis pela correta destinação dos seus resíduos e que esses devem ser depositados ou destinados a unidades específicas, implicando em aumento nos custos de produção.

Como consequência, as empresas que integram o setor, as quais, em sua maioria, são de pequeno porte, necessitam encontrar alternativas para superar os desafios e se tornarem mais eficientes, sustentáveis e competitivas no mercado. Contribuir nesse processo foi uma das motivações deste trabalho, pois uma dessas alternativas relaciona-se ao tratamento dos resíduos visando a sua reciclagem, através da incorporação de tecnologias limpas, uma vez que a sua adoção pode contribuir para a redução dos custos e do passivo ambiental das empresas, garantindo a sua produção em um contexto ambientalmente correto e sustentável. Outra alternativa pode ser a utilização de indicadores que contribuam para a tomada de decisão e o acompanhamento de suas ações pela busca de condições mais sustentáveis.

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho visando atender ao objetivo deste estudo: propor a incorporação de tecnologias visando a recuperação e reciclagem de materiais em empresas que beneficiam gemas e avaliar suas condições de sustentabilidade a partir da proposição de indicadores de sustentabilidade. Para tanto, foram desenvolvidas quatro etapas, conforme apresentado na Figura 05.

Figura 05 – Procedimentos metodológicos desenvolvidos no estudo



Fonte: Elaborado pela autora

Inicialmente foi realizado o acompanhamento e análise do processo produtivo de beneficiamento de gemas, com o objetivo de obter informações detalhadas das atividades desenvolvidas e identificar dificuldades enfrentadas pelo setor. Em seguida, foi realizado o inventário de entradas e saídas do processo, conforme recomendado pela P + L e a ACV, visando identificar pontos críticos em termos de consumo de materiais e geração de resíduos. A terceira etapa consistiu na proposição de tecnologias, considerando os pressupostos de P + L, que promovem a adequação da atividade e permitem o tratamento e reciclagem de resíduos

gerados, assim como, a redução de perdas no processo produtivo. E, por fim, elaborou-se uma proposta de indicadores de sustentabilidade que permitem avaliar e monitorar as condições de sustentabilidade em empresas que compõem o setor de beneficiamento de gemas e realizou-se a avaliação dessas condições em uma empresa pertencente ao setor.

Todas as etapas foram desenvolvidas com a colaboração da empresa Pedras Oriente Comércio, Importação Exportação Ltda, fundada em 2009 e localizada no município de Teutônia/RS, em uma área total de 17.000 m<sup>2</sup>, sendo a área construída de 1.960 m<sup>2</sup> (QUADRO 03).

#### Quadro 03 – Dados da empresa colaboradora do estudo

|   |
|---|
| Razão Social: Pedras Oriente Comércio, Importação Exportação Ltda<br>Endereço: Rua Carlos Arnt, 434, B. Canabarro, Teutônia/RS<br>Home Page: <a href="http://www.pedrasorientecom.br/">http://www.pedrasorientecom.br/</a><br>Data de fundação: Agosto de 2009<br>Número de empregados: 20<br>Área total do terreno: 17.000 m <sup>2</sup><br>Área construída: 1.960 m <sup>2</sup> |
|---|

Fonte: Pedras Oriente Comércio, Importação Exportação Ltda.

A empresa realiza atividades de beneficiamento de gemas sem tingimento, principalmente de ágatas, conforme autorizado pela Licença de Operação nº 015/14 e Expediente 6539/13 emitido pela Prefeitura Municipal de Teutônia. Esse processo de beneficiamento é composto por diversas etapas, as quais podem ser manuais, semiautomáticas ou automáticas, dependendo da função.

Em 2015, a empresa vem utilizando aproximadamente 4 toneladas de gemas por mês, o que resulta em uma produção média de 0,3 toneladas de gemas beneficiadas, e emprega 20 funcionários. Pela classificação do SEBRAE, o porte das empresas é definido segundo as faixas de números de funcionários, sendo que a empresa colaboradora desse estudo classifica-se como de pequeno porte, pois atua no ramo industrial e situa-se na faixa entre 20 a 99 empregados (SEBRAE, 2013).

Sua produção geralmente ocorre mediante encomendas e destina-se tanto para o mercado interno como externo, embora os produtos comercializados em cada um desses mercados sejam diferentes, conforme é apresentado no próximo capítulo. Para atender à demanda, a empresa trabalha com mais 400 modelos de cabochão<sup>14</sup>, combinando isso com uma cartela de mais de 15 tipos e cores de gemas. Além disso, possui em seu catálogo mais de

<sup>14</sup> “Pedra preciosa polida, mas não facetada” (MICHAELIS, 2015).

130 modelos de brincos, mais de 100 modelos de colares, aproximadamente 40 modelos de conjuntos, 29 modelos de acessórios para bombas de chimarrão, entre outros.

A seguir é detalhada cada uma das etapas desenvolvidas para a execução deste trabalho e o alcance dos objetivos propostos.

#### **4.1 Acompanhamento e análise do processo produtivo**

A primeira etapa teve início em julho de 2012 com a realização de visitas semanais e consistiu no acompanhamento e análise do processo de beneficiamento de gemas, com o intuito de obter maiores informações sobre a atividade, compreender o funcionamento do processo produtivo, perceber aspectos corriqueiros, familiarizar-se com setor e identificar pontos críticos.

Inicialmente, com o auxílio de funcionários e dos gestores da empresa colaboradora, foi elaborado o fluxograma do processo produtivo da empresa. Este permitiu identificar e compreender as etapas necessárias para o beneficiamento das gemas, assim como, identificar o consumo de materiais e os tipos de resíduos gerados em cada uma dessas etapas.

Em seguida, iniciou-se a coleta de dados para quantificar o consumo de materiais utilizados no processo, o volume de resíduos gerados, e a quantidade beneficiada de gemas. Essa quantificação foi realizada com base em um levantamento de informações primárias, visto que não estão disponíveis em consultas públicas, a partir de documentos internos da empresa, como relatórios gerenciais da produção, acompanhamento de laudos técnicos e do plano de gerenciamento de resíduos sólidos, entre outros. Além disso, ainda foram realizadas observações diretas, pela pesquisadora, do processo produtivo.

As visitas à empresa colaboradora, para o acompanhamento do processo e coleta de dados, foram realizadas semanalmente, no período de julho de 2012 a junho de 2015, o que permitiu ao pesquisador compreender mudanças na atividade produtiva, decorrentes de alterações no cenário econômico, e a busca de soluções por parte da empresa aos problemas enfrentados. E, com base nessas informações coletadas inicialmente, foi possível elaborar o inventário de entradas e saídas do processo.

Além disso, ainda foram coletados dados secundários sobre a produção, emprego e comercialização de bens pelo setor no âmbito estadual e nacional, em bancos de dados oficiais do governo e instituições representativas da área como: o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), o Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos (IBGM), a Relação Anual sobre Informações Sociais (RAIS) do Ministério do Trabalho e Emprego, entre outros.

#### **4.2 Inventário de entradas e saídas do processo**

O inventário de entradas e saídas do processo foi elaborado com base em análises de ciclo de vida dos materiais (CALLISTER; RETHWISCH, 2013), visando identificar pontos críticos em termos de consumo de recursos e geração de resíduos, efluentes e emissões. Os dados para a elaboração do inventário foram coletados no período de janeiro a junho de 2015, com base em relatórios gerenciais e considerando como exercício base o ano de 2014.

Contudo, vale destacar que não foi realizada a avaliação completa do ciclo de vida dos materiais utilizados no processo produtivo, sendo esta restrita ao processo de beneficiamento das gemas, ou seja, não foram avaliadas as fases de mineração e extração das gemas, do petróleo e dos demais materiais em fases anteriores a sua chegada à indústria de beneficiamento de gemas. Assim como, também não foram avaliadas fases posteriores de descarte e reciclagem dos resíduos.

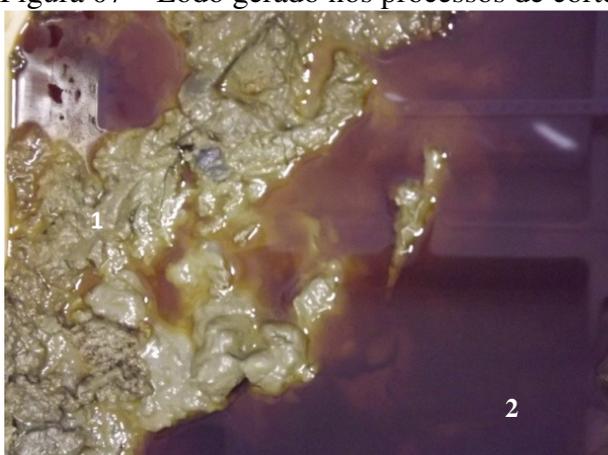
Em outras palavras, a avaliação ficou restrita aos impactos gerados durante o processo produtivo e a possibilidade de reciclagem de materiais no próprio processo, com o objetivo de reduzir o consumo de novos materiais e a geração de passivo ambiental. A Figura 06 ilustra o ciclo de vida geral dos materiais utilizados nos processos de beneficiamento de gemas, sendo as duas etapas destacadas as que foram analisadas neste trabalho.



### 4.3 Proposição de tecnologias

Para a proposição de ferramentas que visem uma P + L com a incorporação de tecnologias limpas visando minimizar a geração de resíduos e possibilitar a sua reciclagem, fez-se necessária, inicialmente, a caracterização do lodo, principal resíduo decorrente do processo produtivo. Para tanto, foram coletadas amostras do lodo gerado nos processos de corte e torneamento (FIGURA 07), com o intuito de verificar o teor de óleo, o percentual de sólido e o teor de benzeno.

Figura 07 – Lodo gerado nos processos de corte e torneamento



Fonte: Da autora

Legenda: 1 pó da gema; 2 óleo diesel marítimo (lubrificante)

Para a determinação do teor de óleo contido no lodo, foi utilizado o método de extração Soxhlet (RICE et al., 2012). Esse método permite a separação de óleos e resíduos sólidos através da filtração com o auxílio de um solvente, pois o conjunto extrator Soxhlet (FIGURA 08) permite que uma determinada quantidade de solvente passe repetidas vezes pela amostra a extrair (através da realização de ciclos), fazendo a lavagem do óleo. Ao final do processo, o solvente misturado ao óleo é evaporado, de modo que seja possível a determinação do volume de óleo presente na amostra.

Figura 08 – Sistema de extração Soxhlet



Fonte: Da autora

Legenda: 1 Balão; 2 Condensador para Soxhlet; 3 Extrator Soxhlet; 4 Manta aquecedora; 5 Banho Ultratermostático.

Os materiais utilizados para a determinação do teor de óleo foram: um balão de fundo redondo de 2000 ml, um condensador para Soxhlet, um extrator Soxhlet, uma manta aquecedora de 2000 ml, um banho termostático da marca Marconi, modelo MA 184, o solvente Hexano PA, e um rotaevaporador, modelo Fisatom, modelo 802.

Para a utilização desse método, inicialmente coloca-se a amostra do lodo em um cartucho (papel filtro com forma cilíndrica), o qual é inserido no Soxhlet (FIGURA 09).

Figura 09 – Cartucho com amostra de lodo



Fonte: Da autora

Legenda: 1 Demonstra a presença de óleo misturado com o resíduo seco.

Para fazer a limpeza da amostra, utilizou-se como solvente o hexano PA. A escolha do solvente é justificada pelo fato dele ter afinidade com o óleo diesel marítimo. Esse solvente foi aquecido num balão de fundo redondo, originando vapor. O vapor proveniente do solvente

aquecido passa para o condensador, onde é refrigerado (refrigeração a partir de banho termostático - Marconi), passando ao estado líquido e enchendo o extrator até ao nível do tubo lateral (menisco). Ao longo do tempo, o solvente vai levando os compostos solúveis presentes na amostra e, após vários ciclos, obtém-se o extrato final.

Posteriormente ao processo de lavagem da amostra, realiza-se a separação da mistura formada por óleo diesel marítimo e hexano, a qual estava contida no balão, através da evaporação do solvente pelo rotaevaporador. Nesse processo, o solvente é aquecido até seu ponto de ebulição, após passa pelo condensador, onde é refrigerado e começa a gotejar em outro balão na forma de líquido. Após a separação completa do óleo diesel marítimo e hexano, é possível determinar o volume de óleo e o seu percentual em relação à amostra.

As amostras coletadas foram de 50 gramas (g) de lodo proveniente diretamente do processo de beneficiamento de gemas, sendo os testes realizados em triplicata. A estimativa do teor médio de óleo contido no lodo foi realizada a partir da média aritmética do resultado das três análises<sup>15</sup>. Para tanto, considerou-se o volume extraído de óleo, o qual foi transformado em termos de massa considerando-se a densidade do óleo<sup>16</sup>, e após foi calculado o teor de óleo em termos percentuais. Cada processo de determinação do teor de óleo por soxhlet durou aproximadamente 8 horas e 30 minutos. Por avaliação visual, após este tempo de extração, observou-se a ausência de coloração no solvente característica do óleo lubrificante, indicando, portanto, a extração total deste.

Para a determinação do teor de benzeno presente no lodo, o qual é um indicativo de periculosidade, foi inicialmente utilizado o método de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). No entanto, como esse método somente indica a presença de benzeno a partir de 2000 miligramas/litro (mg/l), não foi possível fazer a determinação, pois embora houvesse a presença de bandas, não foi possível realizar a quantificação.

Em consequência, optou-se por utilizar a técnica de cromatografia a gás acoplada ao espectrômetro de massas (*Gas Chromatography–Mass Spectrometry - GC/MS*), segundo o método 8260B da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*US Environmental*

---

<sup>15</sup> Amostras ambientais caracterizam-se por serem amostras complexas, não homogêneas, dificultando a sua quantificação e apresentando um desvio padrão alto (RICE et al., 2012; PRESTES et al., 2009). O mesmo acontece com o lodo proveniente da indústria de gemas, uma vez que determinadas amostras podem apresentar uma concentração maior de óleo que outras, por isso, todos os valores extremos de concentrações do teor de óleo obtidos em testes com o lodo foram excluídos das análises.

<sup>16</sup> A densidade do óleo foi determinada pelo Núcleo de Eletrofotografia e Materiais Poliméricos da Univates (NEMP/Univates) por picnometria, pois ele apresenta componentes diferentes do óleo diesel comum.

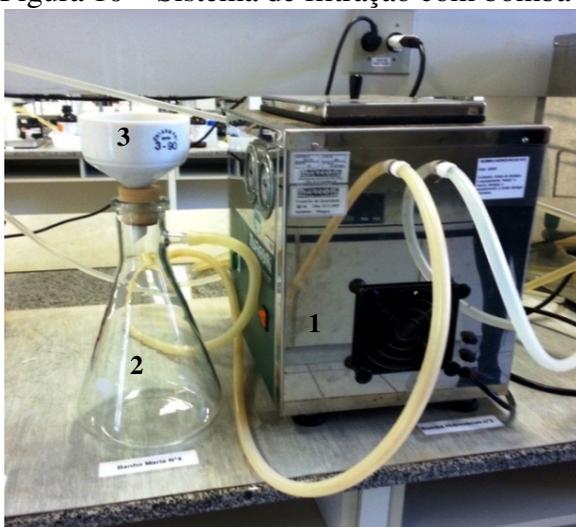
*Protection Agency - USEPA* ), o qual permite a determinação de compostos orgânicos voláteis em diversos tipos de amostras, incluindo resíduos oleosos. Para tanto, foi utilizado um analisador modelo QP2010 Ultra da marca Shimadzu.

Ambos os testes para a identificação do teor de benzeno foram realizados pelo Centro Tecnológico em Pesquisa e Produção de Alimentos (CTPPA), localizado no Tecnovates.

A tecnologia proposta para o tratamento do resíduo (lodo) é a utilização do método de extração de óleo por bomba hidrovácuo, que permite a separação parcial do óleo contido no lodo, com base em discussões realizadas com o corpo técnico da empresa e em trabalhos prévios da literatura (CECCHIN, 2011; THOMÉ; CECCHIN; FREITAS, 2012; EIDELWEIN, 2012; RITTER, 2012).

Para a realização das análises de reciclagem do óleo (triplicata) com a tecnologia, em escala de bancada, foram utilizadas, como materiais, a Balança analítica (*Bel Engineering*) e a Bomba hidrovácuo da marca Marconi, modelo MA 053 (FIGURA 10).

Figura 10 – Sistema de filtração com bomba hidrovácuo



Fonte: Da autora

Legenda: 1 Bomba de hidrovácuo; 2 Kitasato; 3 Funil de Büchner.

Para a realização das análises, foram utilizadas amostras de 10, 20 e 30 g de lodo proveniente diretamente do processo de beneficiamento de gemas, através de triplicata. Esse lodo contém uma fase sólida formada por grãos minúsculos da matéria-prima (gema), com altas concentrações de sílica (BRUXEL, 2011), e uma fase líquida proveniente do óleo diesel marítimo utilizado para lubrificação, por isso foi realizada a filtração pela bomba hidrovácuo (MARCONI) para separação dessas fases.

O processo de filtração baseia-se na ideia de separação dos componentes sólido-líquido (FIGURA 11). No caso da filtração a vácuo, utiliza-se pressão negativa para o procedimento. Logo, as amostras de lodo foram inseridas em um funil de Büchner com diâmetro de 10 centímetros (cm) que foi acoplado a um Kitasato de 2000 mililitros (ml). Ao final do processo, a parte sólida (pó da gema) ficou contida no funil de Büchner e o óleo diesel marítimo recuperado ficou contido no Kitasato.

Figura 11 – Sistema utilizado na filtração a vácuo



Fonte: Da autora

Legenda: 1 Kitasato; 2 Funil de Büchner.

Esse processo durou em média 20 minutos e permitiu que fosse possível determinar o volume de óleo recuperado pela tecnologia proposta (FIGURA 12).

Figura 12 – Amostras de óleo extraído por filtração a vácuo



Fonte: Da autora

Como esse método permite somente a separação parcial do óleo, a parte sólida (FIGURA 13) novamente foi inserida no Soxhlet para que fosse determinado o volume de óleo que continuava presente na amostra após o processo de filtração a vácuo.

Figura 13 – Resíduo sólido após o processo de filtração



Fonte: Da autora

Como os resultados mostraram-se eficientes para a separação do óleo, a etapa seguinte foi desenvolver a tecnologia que pudesse ser incorporada ao processo produtivo para o tratamento do lodo em escala industrial. Para tanto, em parceria com o Núcleo de Eletrofotocímica e Materiais Poliméricos da Univates (NEMP/UNIVATES), foi desenvolvido um sistema de filtração por trompa d'água (FIGURA 14), em escala piloto. Esse sistema simula o sistema de filtração a vácuo que pode ser adaptado para uma escala industrial, podendo ser utilizado nas empresas por possibilitar o tratamento de volumes maiores a um custo menor.

Figura 14 – Sistema de trompa d'água utilizado no estudo



Fonte: Da autora

Legenda: 1 Sistema de trompa d'água; 2 Simula um funil de Büchner; 3 Simula o Kitasato.

O sistema tem capacidade de tratamento de aproximadamente  $0,226 \text{ m}^3$  de resíduo. Contudo, a sua eficiência pode variar de acordo com o volume tratado. Por este motivo, os

primeiros testes realizados com a trompa d'água foram para determinar qual a quantidade de amostra necessária para obter o vácuo e para que fosse possível a realização da separação das fases (quanto maior o vácuo, melhores são os resultados). Percebeu-se que, com aproximadamente 1.000 g de lodo, o sistema demonstrava eficiência, sendo utilizada essa medida como referência.

Assim, para a realização dos testes (triplicata), foram utilizadas amostras de 1.000 g de lodo nas quais foi adicionada uma quantidade de 3 litros (l) de éter de petróleo, utilizado como solvente<sup>17</sup>, através de uma agitação mecânica. A mistura ficou 24 horas de repouso, para depois passar pelo processo de separação de fases pelo sistema de filtração por trompa d'água. O solvente em contato com o soluto permitiu a separação do resíduo sólido e da fase líquida (solvente + óleo) depois de repetidos processos de filtração. Esse procedimento levou aproximadamente 3 horas e 30 minutos.

Em seguida, o resíduo líquido passou pelo processo de destilação fracionada para que houvesse a separação da mistura formada por óleo diesel marítimo mais o solvente. Esse procedimento permitiu que fosse determinado o volume de óleo recuperado, com a tecnologia em escala piloto, do resíduo seco (pó de gema) e do solvente.

Além disso, do resíduo sólido foi retirada uma alíquota de 100 g, para que fosse possível determinar a quantidade de óleo que continuava presente na amostra após esta ter passado pelo tratamento com a utilização da trompa d'água. Essa determinação foi realizada, utilizando-se o método Soxhlet.

Dessa forma, foi possível avaliar parcialmente os benefícios e ganhos obtidos pela incorporação da tecnologia. Contudo, cabe ressaltar que essa tecnologia exige que o sistema de tratamento seja fechado para evitar a evaporação do solvente, o qual é volátil. Já o resíduo seco pode ser incorporado em outras indústrias. E, em termos econômicos, a empresa tende a ter uma redução nos custos em decorrência da compra de menores quantidades de óleo virgem. Por esse motivo, as estimativas sobre os benefícios obtidos em decorrência da introdução da tecnologia foram realizadas a partir da análise de três variáveis: reciclagem de combustível, geração de resíduo e economia decorrente da reciclagem.

Ademais, como exposto anteriormente, uma das alternativas de reciclagem do resíduo

---

<sup>17</sup>Neste teste foi utilizado como solvente o éter de petróleo, o qual é um solvente apolar de baixo preço e de fácil acesso pelas empresas, conforme resultados encontrados por Eidelwein (2012).

seco é a sua incorporação na massa cerâmica (BRUXEL, 2011). No RS, a incorporação de resíduos sólidos em processos industriais é regulada pela FEPAM por meio da Diretriz Técnica N° 001/2010. Segundo essa diretriz,

A Unidade Geradora do resíduo, deverá solicitar à FEPAM uma AUTORIZAÇÃO para a atividade de “incorporação de resíduo sólidos industrial como matéria prima” em escala de bancada, conforme o código da Tabela de Atividades Passíveis de Licenciamento da FEPAM, observando as diretrizes disponibilizadas no site [www.fepam.rs.gov.br](http://www.fepam.rs.gov.br), apresentando as seguintes informações técnicas mínimas: [...] 6.4- Laudos técnicos e testes a serem realizados com o produto obtido, com base nas características do mesmo, referentes a especificações de normas e produtos afins, comparando o mesmo com o produto sem a adição do resíduo em pauta, a ser realizado por entidade habilitada para tal. Como exemplo, podemos citar testes como: toxicidade, solubilização, lixiviação, resistência mecânica, resistência à queima, expansão por umidade, resistência à compressão, combustibilidade e permeabilidade, no caso de produtos cerâmicos (FEPAM, 2010b, p. 3).

Para tanto realizou-se a análise térmica gravimétrica (TGA) de blocos cerâmicos produzidos com e sem a incorporação do lodo, para verificar as perdas de massa em função da mudança de temperatura. As amostras também foram submetidas aos testes de cromatografia gasosa (GC/MS), com o objetivo de identificar os constituintes orgânicos voláteis presentes nas amostras. Esses testes também foram realizados pelo CTPPA.

Para tanto, solicitou-se à uma indústria cerâmica localizada no município de Arroio do Meio/RS, que produzisse corpos de prova, em experimento teste, com duas composições diferentes: a primeira com a utilização de 100% de massa cerâmica (argila pura), identificada como bloco cerâmico sem resíduo, e a segunda, com a incorporação de 5% de resíduo proveniente do processo de beneficiamento das gemas e 95% de massa cerâmica, denominada como bloco cerâmico com resíduo. Esses corpos de prova foram produzidos seguindo a metodologia desenvolvida por Bruxel (2011).

As avaliações térmicas das amostras dos corpos de prova foram realizadas em um sistema de análises térmicas da marca Perkin Elmer, modelo TGA 4000 sob uma taxa de aquecimento de 10°C/min até a temperatura de 750°C e uma vazão de nitrogênio de 20 ml por min.

Para o teste de cromatografia, como os corpos de prova (blocos cerâmicos maciços) haviam sido submetidos a um pré-aquecimento a 60°C após o processo de prensagem, foi coletada uma amostra da superfície do tijolo com e sem resíduo (aproximadamente 1 cm de espessura) e uma amostra do interior (região central do tijolo). Após esse procedimento, as amostras foram divididas para análise por cromatografia gasosa por duas metodologias

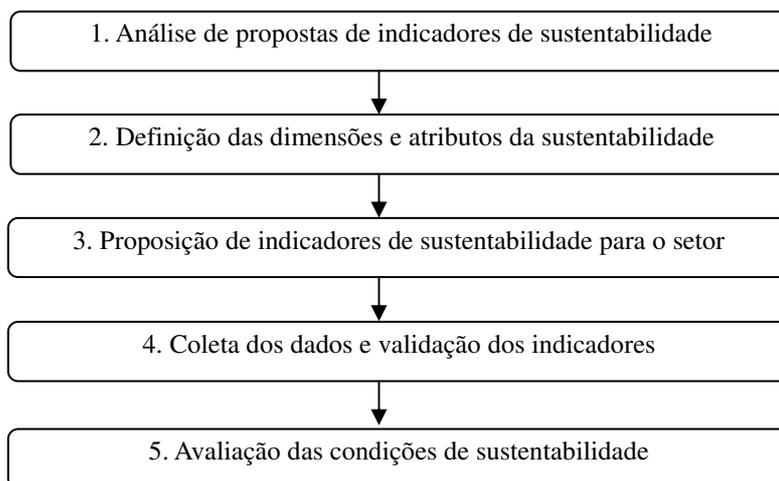
diferentes (conforme laudo no ANEXO A). A análise foi realizada no GC/MS modelo QP2010 Ultra da marca Shimadzu.

Além disso, buscando contribuir com a avaliação e o monitoramento das condições de sustentabilidade das empresas que beneficiam gemas de uma forma mais holística, ainda foi desenvolvida uma proposta de indicadores de sustentabilidade, os quais são apresentados na próxima etapa.

#### 4.4 Proposição de indicadores de sustentabilidade

Com base nas informações levantadas e no conhecimento adquirido nas etapas anteriores, foi possível desenvolver a proposta de indicadores que auxilia na avaliação das condições de sustentabilidade das empresas que compõem o setor de beneficiamento de gemas. Para o desenvolvimento dessa etapa, foram desenvolvidas cinco subetapas (FIGURA 15) que serão detalhadas a seguir.

Figura 15 – Etapas desenvolvidas para elaboração da proposta de indicadores de sustentabilidade



Fonte: Elaborado pela autora

Inicialmente, foi realizada uma revisão e feita uma análise de diferentes iniciativas de construção de indicadores de sustentabilidade aplicados à indústria, desenvolvidos por instituições de abrangência nacional e internacional e diversos pesquisadores: UN (2007); OECD (2003); CNTL (2003b); ABNT (2004); GRI (2013); Instituto Ethos (2014); Hammond et al. (1995); Ragas et al. (1995); Gallopin (1996); Hardi e Zdan (1997); Meadows (1998);

Bossel (1999); Callens e Tyteca (1999); Azapagic e Perdan (2000); Veleva e Ellenbecker (2001); Segnestam (2002); Krajnc e Glavic (2003); Azapagic (2004); Tanzil e Beloff (2006); Joung et al. (2012); Chen et al. (2014); entre outros.

Essa revisão contribuiu para melhor compreensão e análise das propostas de indicadores de sustentabilidade desenvolvidas anteriormente, assim como, na identificação de aspectos similares e distintos entre as mesmas. Contudo, vale destacar que essa revisão não foi exaustiva, embora se tenha buscado identificar as principais propostas de indicadores de sustentabilidade aplicados a empresas e que fossem úteis para construção dos indicadores para o setor de beneficiamento de gemas.

Esta proposta de indicadores de sustentabilidade, assim como a maior parte das propostas analisadas, baseia-se no conceito de desenvolvimento sustentável desenvolvido pela Comissão Bruntland (CMMAD, 1991), o qual estabelece que devam ser atendidas as necessidades do presente, mas sem comprometer a capacidade de atendimento das necessidades das futuras gerações. Para tanto, faz-se necessário um equilíbrio entre as ações humanas e a preservação do meio ambiente.

Também foram levadas em consideração algumas especificidades e questões-chave para o desenvolvimento do setor de beneficiamento de gemas em um contexto sustentável. Essas questões foram identificadas através da análise de estudos anteriores sobre o setor e a partir de entrevista com os proprietários da empresa colaboradora deste estudo. Essa entrevista foi realizada a partir de um questionário semiestruturado, com o objetivo de identificar condições necessárias para o alcance da sustentabilidade no setor (APÊNDICE A).

A partir desse contexto, foi desenvolvida a proposta de indicadores, a partir do tripé da sustentabilidade proposto por Elkington (2012), considerando as dimensões ambiental, econômica e social. Contudo, por entender-se fundamental a incorporação de tecnologias para o atendimento das metas da sustentabilidade, neste trabalho optou-se por inserir ainda a dimensão tecnológica. Esses indicadores servem de ferramenta para diagnosticar as condições em que se encontram as empresas e avaliar e monitorar sua evolução em busca da situação desejada sustentável (aonde se pretende chegar).

Levando em conta a origem do conceito da sustentabilidade (VEIGA, 2011; NASCIMENTO, 2012), optou-se por considerar ainda dois atributos da sustentabilidade: produtividade e resiliência. O atributo produtividade está associado diretamente ao conceito

de produção sustentável, pois, para se alcançar essa qualidade, é preciso melhorar a produtividade dos processos (PORTER; VAN DER LINDE, 1995; LAYRARGUES, 2000), através do uso mais eficiente dos recursos e da minimização da geração de resíduos, visto que alguns recursos utilizados pelo setor são finitos (gemas e o óleo); já a resiliência está associada à capacidade de suporte e de recuperação dos sistemas (DALY; COSTANZA, 1992; VEIGA, 2011; NASCIMENTO, 2012).

Para a seleção dos indicadores, levaram-se em consideração também os critérios destacados por Gallopin (1996), Bossel (1999), Segnestam (2002), entre outros. Entre esses critérios destacam-se: a utilidade dos indicadores, a importância para os tomadores de decisão, a abrangência, a clareza, a praticidade, a qualidade, e a viabilidade de sua coleta na empresa (em termos econômicos, medida de escala e de tempo).

Dessa forma, com base nas propostas de indicadores de sustentabilidade analisados, na realidade das empresas que beneficiam gemas, conforme identificado na primeira etapa deste estudo (acompanhamento do processo de beneficiamento), e nas dimensões e atributos da sustentabilidade a serem considerados, foram selecionados e definidos os indicadores que poderão ser utilizados para avaliar as condições necessárias para o alcance da sustentabilidade, assim como para contribuir nos processos de tomada de decisão, conforme recomendado por diversos autores citados anteriormente (APÊNDICE B). Contudo, isso não significa que seja uma condição suficiente, visto que um conjunto de indicadores dificilmente conseguirá incluir todas as variáveis necessárias para a sustentabilidade (CALLEN; TYTECA, 1999).

Os indicadores propostos são orientados para aplicação em empresas (AZAPAGIC; PERDAN, 2000; VELEVA; ELLENBECKER, 2001; KRAJNC; GLAVIC, 2003) e consideram a abordagem *bottom-up* (CALLEN; TYTECA, 1999), pois buscam medir o desempenho em direção à sustentabilidade a partir das próprias empresas de beneficiamento de gemas, embora possam ser utilizados também para fins de comparação entre as empresas que compõem o setor.

Após a elaboração da proposta de indicadores, a etapa seguinte, a qual foi realizada em conjunto com a empresa colaboradora deste trabalho, consistiu na sua validação. Através dessa etapa, buscou-se identificar se a proposta de indicadores contribuía para a avaliação do desempenho do setor e incorporava aspectos críticos para o alcance da sustentabilidade.

Além disso, foi realizada a coleta dos dados para a mensuração das variáveis, dos indicadores e do índice de sustentabilidade na empresa colaboradora. Ou seja, fez-se a coleta dos dados primários para cada uma das variáveis, a partir de documentos da empresa, fichas de produção e entrevista com os proprietários. As variáveis foram mensuradas considerando-se dados anuais.

E, por fim, para que fosse possível realizar a avaliação das condições de sustentabilidade da empresa em estudo, os resultados foram agregados em um índice geral. Porém, como não existem valores de referência para as variáveis coletadas e, como estes foram mensurados para apenas um exercício, no caso para o ano de 2014, optou-se por normalizá-los através da atribuição de notas de 1 a 3 para cada variável, de modo a evidenciar a pior situação (nota 1), uma situação intermediária (nota 2) e a melhor situação para o alcance de condições mais sustentáveis (nota 3) (APÊNDICE C).

A proposta de indicadores classificados por dimensão e atributo, assim como a relação de variáveis que a compõe e os parâmetros e pesos atribuídos a cada variável podem ser observados no Quadro 04.

Quadro 04 – Proposta de indicadores classificados por dimensão, atributo, descrição variáveis, parâmetros e pesos

|                                   | Dimensão                        | Atributo                   | Indicador   | Variável               | Parâmetros                          | Peso |
|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---|------------------------|-------------------------------------|------|
| <b>Índice de Sustentabilidade</b> | <b>Ambiental (25%)</b>          | <b>Produtividade (50%)</b> | <b>Consumo de recursos (33,3%)</b>                  | Consumo de água        | Até 50 m <sup>3</sup> /tonelada     | 3    |
|                                   |                                 |                            |   |                        | De 50 a 100m <sup>3</sup> /tonelada | 2    |
|                                   |                                 |                            |   |                        | Mais de 100m <sup>3</sup> /tonelada | 1    |
|                                   |                                 |                            |   | Consumo de energia     | Mais de 60% renovável               | 3    |
|                                   |                                 |                            |   |                        | 30 até 60% renovável                | 2    |
|                                   |                                 |                            |   |                        | Menos de 30% renovável              | 1    |
|                                   |                                 |                            |   | Consumo de combustível | Até 60 l/t                          | 3    |
|                                   |                                 |                            |   |                        | De 60 a 120 l/t                     | 2    |
|                                   |                                 |                            |   |                        | Mais de 120 l/t                     | 1    |
|                                   |                                 |                            | <b>Recuperação/ reciclagem de materiais (33,3%)</b> | Reciclagem de óleo     | Mais de 60%                         | 3    |
|                                   |                                 |                            |   |                        | De 30 a 60%                         | 2    |
|                                   |                                 |                            |   |                        | Menos de 30%                        | 1    |
|                                   |                                 |                            |   | Recuperação de gemas   | Mais de 60%                         | 3    |
|                                   |                                 |                            |   |                        | De 30 a 60%                         | 2    |
|                                   |                                 |                            |   |                        | Menos de 30%                        | 1    |
| <b>Passivo ambiental (33,3%)</b>  | Geração total de resíduo (lodo) | Menos de 30%               | 3   |                        |                                     |      |
|                                   |                                 | De 30 a 60%                | 2   |                        |                                     |      |
|                                   |                                 | Mais de 60%                | 1   |                        |                                     |      |
|                                   | Produção de peças com defeito   | Menor de 1%                | 3   |                        |                                     |      |
|                                   |                                 | Entre 1% e 5%              | 2   |                        |                                     |      |
|                                   |                                 | Mais de 5%                 | 1   |                        |                                     |      |
| Geração de resíduo sem tratamento | Menos de 30%                    | 3                          |   |                        |                                     |      |
|                                   | De 30 a 60%                     | 2                          |   |                        |                                     |      |
|                                   | Mais de 60%                     | 1                          |   |                        |                                     |      |

(Continua ...)

(Continuação)

| Índice de Sustentabilidade                 | Dimensão            | Atributo                        | Indicador                                  | Variável  | Parâmetros   | Peso        |
|--|---------------------|---------------------------------|--|---|--|-------------|
|  | Ambiental (25%)     | Resiliência (50%)               | Gestão ambiental (100%)                    | Adoção sistema de gestão ambiental                            | Sim<br>-<br>Não  | 3<br>2<br>1 |
| Adoção de práticas de RSE/Sustentabilidade |                     |                                 |  | Sim<br>-<br>Não   | 3<br>2<br>1  |             |
| Notificações de irregularidades            |                     |                                 |  | Não<br>-<br>Sim   | 3<br>2<br>1  |             |
| Econômica (25%)                            |                     | Produtividade (50%)             | Gestão e diversificação da atividade (50%) | Economia decorrente da recuperação ou reciclagem de materiais | Mais de 5%<br>Entre 1% e 5%<br>Menos de 1%             | 3<br>2<br>1 |
|  |                     |                                 |  | Custos disposição resíduos                                    | Menos de 1%<br>Entre 1% e 5%<br>Mais de 5%             | 3<br>2<br>1 |
|  |                     |                                 |  | Realização de investimentos                                   | Sim<br>-<br>Não  | 3<br>2<br>1 |
|  |                     | Resiliência (50%)               | Adaptabilidade a mudanças (50%)            | Canais de comercialização                                     | 5 ou mais canais<br>Entre 3 a 4 canais<br>Até 2 canais | 3<br>2<br>1 |
|  |                     |                                 |  | Desenvolvimento de novos produtos                             | Sim<br>-<br>Não  | 3<br>2<br>1 |
|  |                     |                                 |  | Receita de novos produtos                                     | Mais de 5%<br>Entre 1% e 5%<br>Menos de 1%             | 3<br>2<br>1 |
| Social (25%)                               | Produtividade (50%) | Condições de trabalho (50%)     | Capacitação e treinamento de funcionários  | Sim<br>-<br>Não   | 3<br>2<br>1  |             |
|  |                     |                                 | Incidência de acidentes de trabalho        | Sim<br>-<br>Não   | 3<br>2<br>1  |             |
|  |                     |                                 | Rotatividade                               | Até 10%<br>Entre 10 e 25%<br>Mais de 25%                      | 3<br>2<br>1  |             |
|  | Resiliência (50%)   | Satisfação do trabalhador (50%) | Benefícios oferecidos pela empresa         | Sim<br>-<br>Não   | 3<br>2<br>1  |             |
|  |                     |                                 | Introdução de inovações tecnológicas       | Sim<br>-<br>Não   | 3<br>2<br>1  |             |
|  |                     |                                 |  | Adoção de práticas de P + L                                   | Sim<br>-<br>Não  | 3<br>2<br>1 |
| Tecnológica (25%)                          | Resiliência (50%)   | Capacidade de inovação (100%)   | Participação em P & D                      | Sim<br>-<br>Não   | 3<br>2<br>1  |             |

Fonte: Elaborado pela autora

Entretanto, cabe salientar que essa foi uma opção metodológica, entre diversas sugeridas na literatura. Como não existe consenso sobre a melhor alternativa, entende-se que

o juízo de valor adotado foi adequado para a realidade dos indicadores, a qual pode vir a sofrer modificações em futuras medições, quando mais informações sobre as atividades estiverem disponíveis.

Assim, após a mensuração e normalização das variáveis, estas foram agregadas por indicador através de uma média aritmética<sup>18</sup>, de modo que a participação de cada variável no indicador foi igual, ou seja, atribuiu-se o mesmo peso a cada uma delas dentro do indicador. Os resultados obtidos para cada indicador são um indicativo da possibilidade ou não do alcance das condições para a sustentabilidade. Quanto maiores forem estes resultados para os indicadores (mais próximos de 3), melhor será o desempenho da empresa em busca do objetivo, assim como, quanto menores forem os valores (mais próximos de 1), maior será a distância a ser percorrida pela empresa para alcançar as condições de sustentabilidade.

Os indicadores, por sua vez, foram agregados por atributos e os atributos agregados por dimensão, considerando-se os mesmos critérios anteriores. E, por último, foi possível calcular o índice de sustentabilidade que indica a condição atual da empresa colaboradora deste estudo no que se refere à busca pela sustentabilidade. Esse índice foi obtido a partir da agregação das avaliações por dimensão e cada dimensão também recebeu a mesma ponderação no cálculo do índice. Os resultados relativos à proposta de indicadores de sustentabilidade são descritos no próximo capítulo.

---

<sup>18</sup>Erbert e Welsch (2004) e Nardo et al. (2005) sugerem que, em alguns casos, seria preferível a utilização da média geométrica, se comparada à aritmética (linear). Segundo Nardo et al. (2005), a agregação linear garante a atribuição dos mesmos pesos a todos os indicadores, de tal forma que o desempenho ruim de uma variável, pode ser compensado por outra; por outro lado, a geométrica é apropriada quando os indicadores são expressos em escalas de razão diferentes, de modo a compensar os indicadores com valores mais baixos, isto é, existe a necessidade de haver uma maior sinergia entre os indicadores para que o desempenho seja adequado. Entretanto, como também não existe consenso sobre este aspecto na literatura, e considerando que existe a necessidade de haver um equilíbrio entre as dimensões da sustentabilidade, optou-se por utilizar a média aritmética.

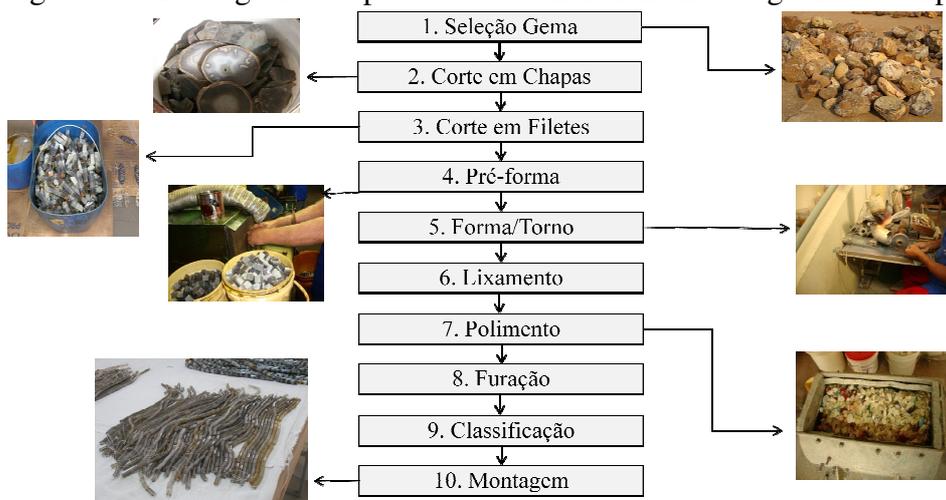
## **5 ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Este capítulo traz a análise dos resultados obtidos com o desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente são apresentadas as informações sobre as etapas envolvidas em um processo de beneficiamento de gemas. Em seguida, é realizada a avaliação do inventário de entradas e saídas do processo produtivo, com a identificação dos pontos críticos em termos de consumo de materiais e de geração de resíduos. Na terceira parte, apresenta-se a proposição de tecnologia, que pode ser incorporada no tratamento de resíduos e são apresentadas estimativas dos benefícios em termos econômicos e ambientais decorrentes do uso dessa tecnologia. Na quarta parte é descrita a proposta de indicadores de sustentabilidade para as empresas beneficiadoras de gemas. E, por fim, é realizada a avaliação das condições de sustentabilidade da empresa colaboradora deste estudo.

### **5.1 O Processo de beneficiamento de gemas**

O processo de beneficiamento de gemas é composto por diversas etapas (corte, torno, lixamento, polimento, acabamento, entre outras), conforme demonstrado no fluxograma do processo produtivo (FIGURA 16).

Figura 16 – Fluxograma do processo de beneficiamento de gemas da empresa colaboradora



Fonte: Elaborado pela autora

Algumas dessas etapas envolvem processos manuais, enquanto outros são processos semiautomáticos ou automáticos, variando de acordo com o tipo de gema e de produto final que se deseja obter, sendo o prazo médio necessário para o desenvolvimento desse processo de aproximadamente 30 a 45 dias.

O processo inicia-se com a escolha da gema que será beneficiada, conforme o produto final desejado. No depósito de gemas da empresa colaboradora se encontram diferentes tipos de gemas, como ágatas, quartzos, jaspes, howlitas, dolomitas, sodalitas, olho de tigre, entre outros (FIGURA 17). Contudo, ressalta-se que as gemas mais utilizadas no processo produtivo dessa empresa são as ágatas, as quais são adquiridas de jazidas localizadas no município de Ametista do Sul/RS ou no município de Salto do Jacuí/RS (ou ainda municípios em seu entorno). A escolha dos fornecedores localizados nessas regiões está associada ao fato dessas jazidas apresentarem autorização legal para funcionamento.

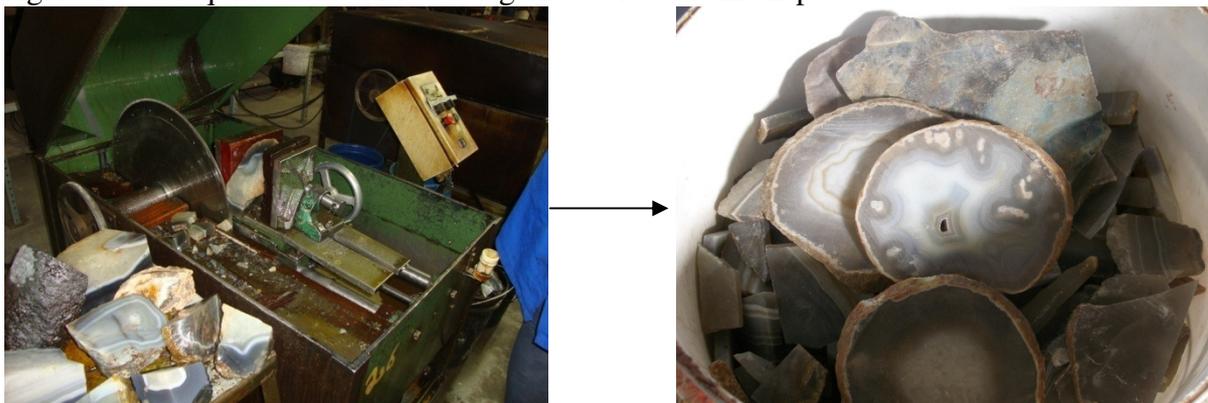
Figura 17 – Imagens do depósito de gemas da empresa colaboradora



Fonte: Da autora

A etapa seguinte consiste no corte inicial da gema em chapas, o qual é realizado em máquinas denominadas de “serra caixaõ” (FIGURA 18), de acordo com a espessura que se deseja obter. Nesta etapa também ocorre a remoção das partes da gema (casca) que não são utilizadas. Esse processo ocorre de forma semiautomática, ou seja, um funcionário tem a função de inserir a gema na máquina, posicionando-a de acordo com os cortes que se deseja fazer e, após, de ajustar manualmente a posição da gema em relação à serra, para obter a espessura desejada. Então, aciona o mecanismo que faz a gema avançar em direção à serra, até que seja cortada a chapa. O término do processo de corte é sinalizado pela máquina ao operador. Esta etapa é lenta, levando vários minutos, por isso um o operador pode atender de 8 a 15 máquinas. E, após o término do corte, o mesmo funcionário deposita as chapas cortadas em local para estoque intermediário e a chefia distribui para as etapas seguintes.

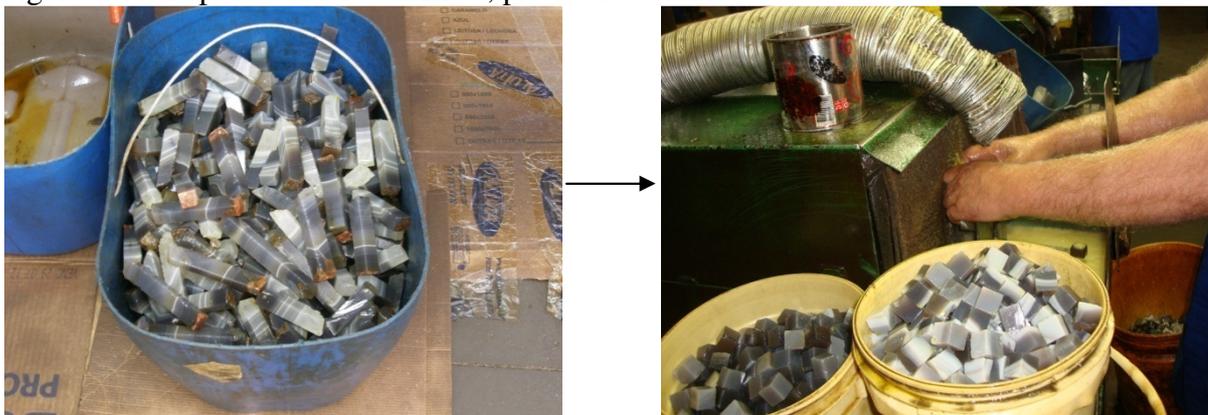
Figura 18 – Máquina serra caixaõ e as gemas cortadas em chapas



Fonte: Da autora

Na terceira etapa, as chapas são cortadas em filetes e após picadas no tamanho da “pré-forma” desejada (FIGURA 19). Esses dois processos são realizados de forma manual, por isso existe a necessidade de haver um funcionário operando cada máquina de corte.

Figura 19 – Etapas de cortes em filete, pré-forma e forma



Fonte: Da autora

Em seguida, essas pré-formas são encaminhadas para a etapa de torneamento, para que seja dada forma à peça, de acordo com o tamanho e o formato desejado. Esse processo de torneamento pode ser realizado de forma manual ou em máquinas automáticas denominadas de “cabocheiras”, e dependerá também do produto desejado e das características da gema beneficiada (como o tipo e a dureza). Estas etapas podem ser visualizadas na Figura 20.

Figura 20 – Torneamento manual e automático



Fonte: Da autora

As máquinas de corte são limpas a cada duas semanas pelo funcionário encarregado pelo tratamento dos resíduos, o qual recolhe o lodo e faz um tratamento parcial, conforme será abordado na próxima seção. Além disso, esse funcionário também realiza o abastecimento com óleo diesel marítimo (lubrificante virgem).

Após o processo de formação, como as peças ainda se apresentam opacas, ocorrem as etapas de lixamento e polimento. Esses processos são importantes para dar brilho às peças, além de contribuir para a identificação de imperfeições. E, assim como na etapa anterior, eles

podem ser realizados de forma manual ou automática, devido às características das gemas. Quando esses processos são realizados de forma automática, em geral são necessários cinco dias para realização do lixamento das peças e mais dois dias para o processo de polimento (FIGURA 21).

Figura 21– Lixamento e polimento



Fonte: Da autora

Algumas empresas beneficiadoras de gemas ainda realizam o processo de tingimento, que ocorre entre essas etapas, com o intuito de colorir as peças beneficiadas, principalmente quando se destinarem à fabricação de joias. Como a empresa colaboradora deste estudo possui licença somente para o beneficiamento de minerais não metálicos sem tingimento, não se incluiu essa etapa no fluxograma e no inventário de entradas e saídas do processo.

A oitava etapa consiste na furação, quando necessária. O funcionário insere a peça pré-industrializada na máquina perfuradora com o objetivo de realizar furos (furo pequeno), de acordo com o modelo a ser produzido. E, por fim, as peças ainda são classificadas e ocorre a montagem (quando for o caso), conforme exigência dos clientes.

As peças prontas são acondicionadas em embalagens e separadas em lotes para a expedição ou podem ser encaminhadas para o setor de estoque da empresa, quando a produção exceder o pedido realizado pelo cliente.

A empresa colaboradora comercializa peças tanto no mercado nacional como internacional (FIGURA 22). Para o mercado interno, em geral são produzidas joias e artigos de decoração, sendo o design desenvolvido pela própria empresa, enquanto que para o mercado externo, são comercializados fios com peças de ágatas. Essa produção é destinada para o Oriente Médio, África e, em alguns casos, tem passagem pela Alemanha.

Figura 22 – Exemplos de modelos produzidos



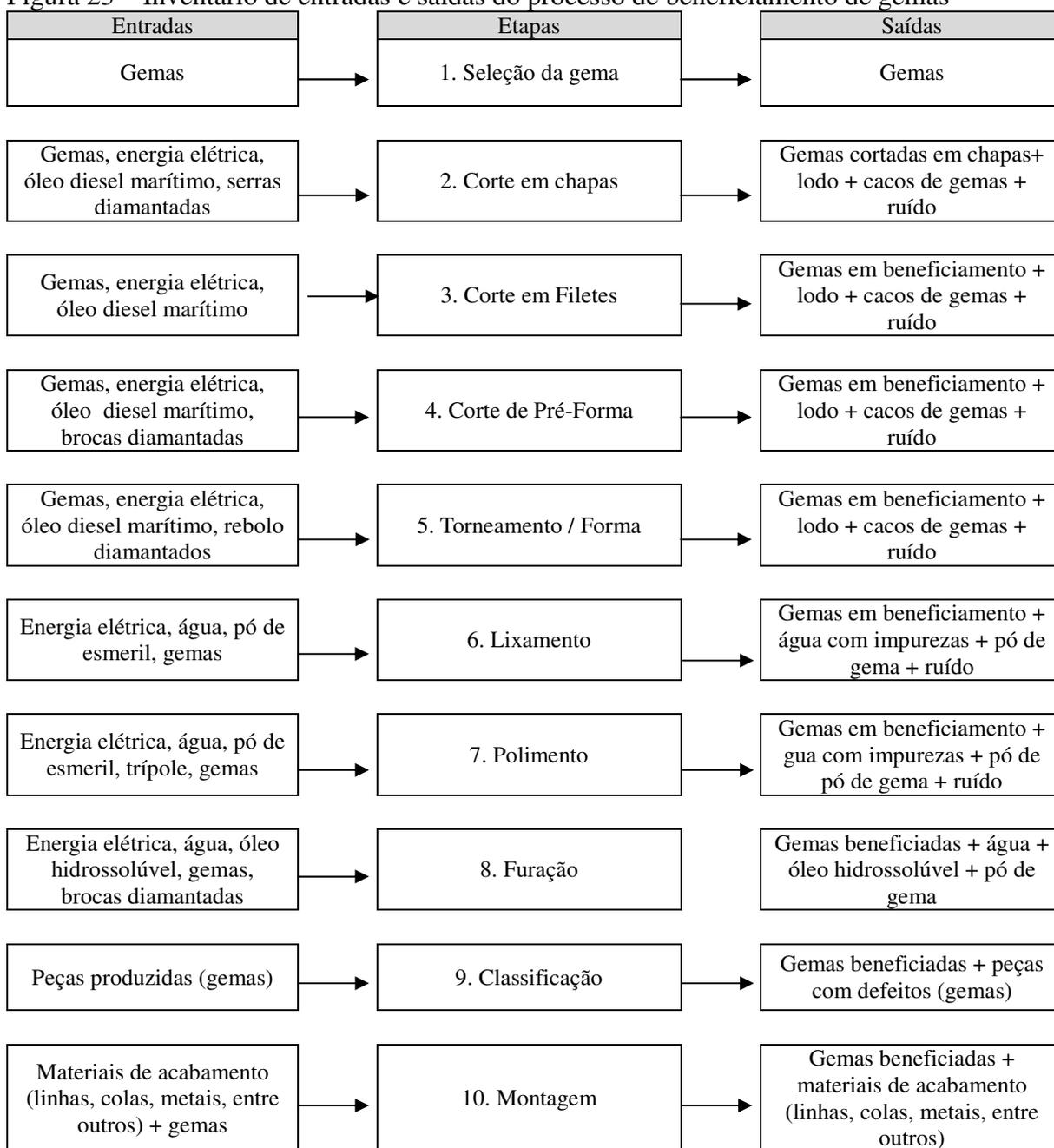
Fonte: Da autora

O processo de beneficiamento de gemas, entretanto, devido às suas particularidades, pode causar inúmeros problemas ao meio ambiente e à sociedade. Por isso, a seguir apresenta-se o inventário de entradas e saídas do processo, que permitiu a identificação de pontos críticos.

## 5.2 Análise do inventário de entradas e saídas do processo produtivo

Durante as etapas do processo de beneficiamento, são utilizados diversos tipos de recursos, assim como são gerados diversos tipos de resíduos sólidos e líquidos. Por isso, realizou-se o inventário de entradas e saídas do processo (FIGURA23), em que foram levados em consideração aspectos como: energia, matérias-primas, produtos utilizados, efluentes, resíduos sólidos e demais impactos. Este inventário contribui para o monitoramento do processo produtivo, bem como indica pontos críticos em termos de consumo de materiais e geração de resíduos.

Figura 23 – Inventário de entradas e saídas do processo de beneficiamento de gemas



Fonte: Elaborado pela autora

Na primeira etapa do processo produtivo, somente ocorre a seleção da gema, não havendo a geração de nenhum resíduo. Já nas etapas em que ocorre o corte das gemas e a formação da peça (etapas 2, 3, 4 e 5), são utilizados como recursos as gemas, óleo diesel marítimo (lubrificante), ferramentas diamantadas e energia elétrica.

Em consequência dessas etapas, forma-se como resíduo um lodo acinzentado escuro, o qual é composto por uma mistura de óleo diesel marítimo, material diamantado moído, pó e pequenos restos da gema cortada. Esse lodo, por conter a presença do óleo diesel marítimo,

pode causar sérios impactos ambientais, conforme já apresentado no capítulo 3. E, de acordo com Bruxel (2011), nas etapas em que se realiza o corte, aproximadamente 50% da matéria-prima transforma-se em resíduo. Por esse motivo, a geração do lodo representa o principal ponto crítico da atividade, devido ao volume gerado e também pela periculosidade que representa.

Embora a empresa colaboradora deste estudo já tenha testado alternativas de óleos solúveis, como óleos de cozinha reciclados, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais decorrentes do processo, esses apresentaram um rendimento inferior ao óleo diesel marítimo. Ao mesmo tempo, seu tratamento era mais complexo, assim como, danificavam rapidamente as ferramentas utilizadas no processo, ocasionando a oxidação, de forma que proporcionavam outros problemas secundários. Assim, a escolha pela utilização do óleo diesel marítimo é decorrente do seu melhor desempenho para a realização do corte das gemas, além de garantir uma maior segurança aos trabalhadores, visto que seu ponto de fulgor é mais elevado se comparado aos demais óleos (PETROBRAS, 2014).

Em relação à destinação final do lodo, a legislação estabelece que deva ser encaminhado para um aterro ou central de recebimento e destinação de resíduos Classe I ou, caso apresente risco de inflamabilidade, deve ser encaminhado para unidades licenciadas de reprocessamento, recuperação, reciclagem, tratamento biológico, co-processamento em fornos de clínquer ou sistemas de tratamento térmico (incineração) (FEPAM, 2010a), implicando em aumentos dos custos e gerando um passivo ambiental para a empresa.

Contudo, pensando em adotar processos mais sustentáveis, a empresa colaboradora não pretende fazer essa destinação, mas sim, buscar alternativas melhores para o seu tratamento, recuperação e reciclagem. Assim, ela tem acondicionado o lodo em tambores poliméricos de 0,2 m<sup>3</sup>, os quais são devidamente fechados, para evitar qualquer contaminação, e alocados no pátio da empresa enquanto buscam alternativas<sup>19</sup>.

Além disso, nessas etapas ainda ocorre a geração de um volume significativo de resíduos sólidos formados pelas sobras de restos de gemas. Em alguns casos, esses resíduos ainda podem ser reaproveitados na fabricação de outras peças (sendo denominados de sobras

---

<sup>19</sup>Ao longo dos seis anos de atividade, a empresa somente enviou um lote para a Fundação PROAMB, que é uma central de resíduos sólidos industriais, localizada no município de Pinto Bandeira/RS. Ao mesmo tempo, foi acumulando um volume significativo de lodo no pátio da empresa, que ainda precisa receber uma destinação final adequada.

de caroço), mas, em outros casos, a sobra é formada por pequenos cacos da gema ou de sua parte externa (casca da gema), impossibilitando o seu reaproveitamento no processo produtivo. Esses resíduos também estão sendo armazenados no pátio da empresa enquanto aguardam por um posterior descarte (FIGURA 24). Uma alternativa para esse resíduo é encaminhá-lo para o processamento de outros tipos de materiais, como por exemplo, de gemas roladas<sup>20</sup>, no entanto, sem valor econômico atrativo para a empresa.

Figura 24 – Resíduo de cacos de gemas



Fonte: Da autora

No processo de lixamento, as gemas pré-fabricadas são inseridas em um vibrador, juntamente com outras pedras menores, pó de esmeril e água. Esse processo leva aproximadamente 5 dias, mas a cada dia as gemas são lavadas e novamente reinseridas no vibrador, sendo adicionadas novas quantidades de pó de esmeril com maior granulagem. Como resíduo dessa etapa, tem-se a geração de efluente formado por água mais impurezas (pó de gema e pó de esmeril). A empresa colaboradora do estudo, buscando dar o devido tratamento a esse resíduo, encaminha o efluente para uma estação de tratamento, que permite a separação da parte sólida e líquida por decantação. Esse procedimento possibilita o reaproveitamento da água, que é utilizada para a limpeza do prédio. Entretanto, não é realizado nenhum monitoramento sobre a quantidade total de água reaproveitada, por isso, não foi possível mensurar os benefícios da prática.

A etapa do polimento é similar à etapa de lixamento, mas, nesse caso, ainda se adiciona o pó de trípole ao vibrador, juntamente com os demais materiais, que contribui para dar brilho às peças. Dessa forma, o resíduo é idêntico (água com impurezas + pó de gema),

---

<sup>20</sup> As gemas roladas são obtidas a partir de um processo de lapidação mais simples. Elas são inseridas em equipamentos vibradores juntamente com materiais abrasivos para que seja realizado o seu lixamento e polimento, de modo que seja possível a obtenção de gemas com bordas arredondadas e superfícies lisas. As gemas roladas são comumente utilizadas em joias simples, em peças de artesanato ou decoração de jardins.

sendo também encaminhado para a estação de tratamento, para posterior reciclagem da água na limpeza predial.

Outra característica presente nas etapas de corte, lixamento e polimento é o elevado ruído decorrente dos processos desenvolvidos e das máquinas utilizadas. Em consequência, os funcionários que atuam nestes setores são obrigados a utilizar equipamentos de proteção individual (EPI).

Na etapa de furação, utilizam-se como recursos as gemas fabricadas, energia elétrica, água, brocas diamantadas e óleo hidrossolúvel utilizado como lubrificante. Como consequência, tem-se a formação de pequenas quantidades de um efluente formado por água, óleo hidrossolúvel e pó da gema. Na empresa colaboradora deste estudo, o efluente é encaminhado para um filtro que permite a separação do pó da gema e a parte líquida, sendo esta novamente reutilizada no processo de furação por aproximadamente 180 dias, e então é descartado.

Na etapa da classificação, ocorre a separação das peças. As peças em conformidade são encaminhadas para a etapa de montagem. As peças produzidas com algum defeito são reencaminhadas para a etapa do torno, quando é possível produzir outra peça a partir desta, ou encaminhadas para o descarte das gemas, juntamente com os cacos decorrentes do processo de corte.

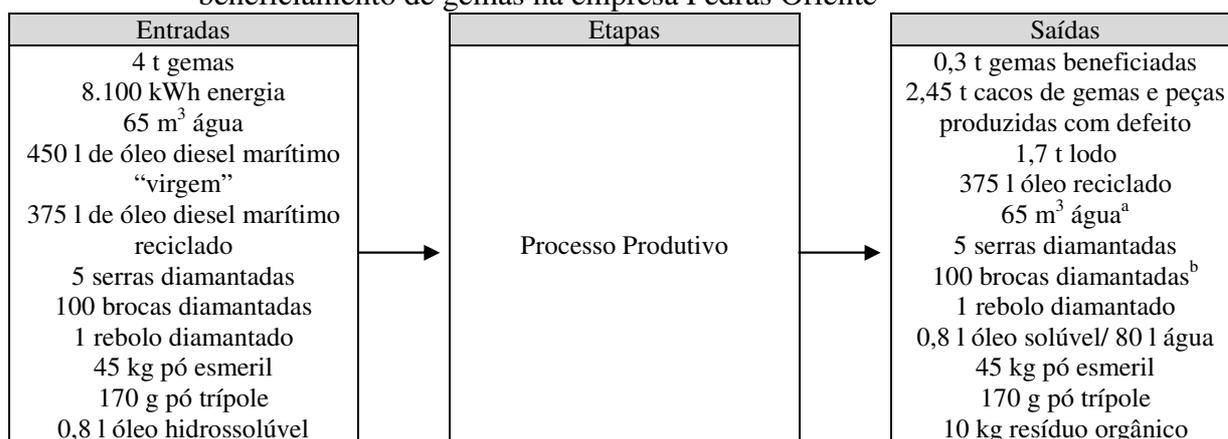
E, por fim, na etapa de montagem são utilizadas as gemas beneficiadas e diversos materiais de acabamento para a montagem das joias e dos fios, como linhas, colas, metais, entre outros, os quais são adquiridos de outras indústrias. Como resíduo dessa etapa ficam pequenas sobras de materiais de acabamento, que, pelas suas características, são consideradas resíduo orgânico e seco, e, portanto, encaminhadas para a coleta municipal.

Como a empresa colaboradora não realiza a mensuração do consumo de materiais e da geração de resíduos por etapas, apenas foi possível fazer o levantamento quantitativo das entradas e saídas do processo de forma agregada, conforme demonstrado na Figura 25.

Para que fosse possível a produção de aproximadamente 0,3 toneladas de gemas beneficiadas por mês, foram utilizados como insumos os seguintes materiais: 4 toneladas de gemas brutas, 8.100 kWh de energia elétrica, 65 m<sup>3</sup> de água proveniente da companhia de abastecimento de água e de poço artesiano localizado na área de empresa, 450 litros de óleo

diesel marítimo virgem, 375 litros de óleo diesel marítimo reciclado (através de processo de lavagem), 5 serras diamantadas, 100 brocas diamantadas, 1 rebolo diamantado, 45 kg de pó de esmeril, 170 g de pó de trípole e 0,8 l de óleo hidrossolúvel. Esses dados são relativos à média mensal no exercício de 2014.

Figura 25 – Inventário quantitativo mensal em 2014 de entradas e saídas do processo de beneficiamento de gemas na empresa Pedras Oriente



Fonte: Elaborado pela autora a partir de informações da empresa Pedras Oriente

<sup>a</sup> Uma parcela deste volume é encaminhado para a estação de tratamento, porém como não há controle, não foi mensurado.

<sup>b</sup> 40% são encaminhadas para a remanufatura e 60% esfarelam no processo.

Assim, é possível perceber que é consumida mensalmente uma quantidade significativa de gemas e de óleo diesel marítimo, para que seja possível a obtenção de uma pequena quantidade de gemas beneficiadas, ou seja, em média, apenas 7,5% do volume de gemas transformam-se em produto final. E, em consequência, gera-se um significativo volume de resíduos como o lodo (1,7 t) e os restos de gemas (2,45 t).

Conforme o plano de gerenciamento de resíduos sólidos elaborado pela empresa, o qual estabelece o local de acondicionamento e a forma de coleta dos resíduos, os resíduos de gemas (cacos), na medida do possível, são reutilizados no processo produtivo ou são doados a terceiros; os resíduos de materiais diamantados são guardados no depósito da empresa e encaminhados para empresas de sucatas, conforme necessidade, para serem remanufaturadas, quando for o caso; os resíduos orgânicos e sanitários são encaminhados para a coleta municipal; o lodo é acondicionado em tambores, conforme já exposto; o pó de esmeril e o pó de trípole diluídos em água são encaminhados para a estação de tratamento, para que, por decantação, possa ocorrer a separação entre o resíduo sólido e o líquido; e o óleo hidrossolúvel é reutilizado na linha de produção através de ciclo fechado, sendo encaminhado, também, para a estação de tratamento a cada 180 dias.

Assim, a partir desse inventário, observa-se que os principais pontos críticos do processo de beneficiamento de gemas estão associados à:

a) geração do lodo formado nas etapas de corte, em especial, pelo volume gerado, e para o qual a empresa colaboradora e as demais empresas do setor buscam uma alternativa de reutilização, pois, do contrário, precisarão encaminhá-lo para unidades específicas, conforme legislação vigente, implicando em aumento nos custos e num passivo ambiental;

b) quantidade de resíduos de gemas (cacos e cascas) que sobram nos processos de corte e formação das peças. Embora pudessem ser reutilizados na produção de outras peças, dificilmente o são, por suas dimensões normalmente não se enquadrarem às necessidades de produção. Além disso, esse processo exigiria um maior cuidado dos funcionários e demandaria maior tempo, enquanto que a seleção de uma gema bruta é mais rápida e fácil.

c) produção de gemas beneficiadas com defeito, pois, como as gemas são sensíveis e irregulares, elas podem quebrar facilmente ao longo do processo ou apresentar defeitos internos que só ficam perceptíveis após as etapas finais. Em consequência, existe a necessidade de produzir um número maior de peças do que as encomendadas. De maneira geral, inicia-se a produção com no mínimo 100% a mais do que a quantidade solicitada por cliente. Ademais, como o desenho natural difere entre uma gema e outra, no momento da montagem de uma joia, é necessário que as peças apresentem homogeneidade. Por isso, nem sempre ter a peça final no tamanho desejado é suficiente para garantir a entrega do produto ao cliente.

A partir do acompanhamento de uma amostra do beneficiamento de peças, observou-se que, do total produzido pelo setor da filetagem, apenas 65% das peças chegavam ao final do processo em conformidade, enquanto que 35% delas apresentavam algum defeito. Os principais defeitos encontrados foram: peças fora do tamanho (maior ou menor que o especificado), peças quebradas ou trincadas, peças com tonalidade diferente da esperada, decorrente de falhas naturais, entre outros. Em alguns casos, elas podem ser reintroduzidas ao processo de produção, para que sejam feitos os ajustes necessários, ou reaproveitadas na produção de outras peças, mas em 35% dos casos, elas estavam quebradas, e, portanto, consideradas como um resíduo. Esses defeitos variam de acordo com o tipo de gema selecionada, por suas características naturais serem diferentes. Além disso, ao analisar o volume da matéria-prima utilizada, verificou-se que apenas 15% tornam-se produto final

acabado, sendo o restante transformado em resíduo.

d) dificuldade de manutenção de estoques devido à variedade de modelos e tipos de gemas destinadas para a produção de joias a serem comercializadas no mercado interno. Como esse mercado está diretamente relacionado a padrões de moda, existe a necessidade constante de produção de novos modelos e cores, seguindo catálogo de tendências de cada estação.

Diante deste cenário, a empresa colaboradora precisa encontrar alternativas para a minimização da geração de resíduos, com o objetivo de tornar a atividade mais eficiente e sustentável. E, buscando contribuir com esse objetivo, neste estudo desenvolveu-se uma tecnologia que contribui para o tratamento do lodo, a qual é apresentada a seguir.

### **5.3 Tecnologias aplicadas ao processo produtivo**

A tecnologia proposta para o tratamento do lodo, principal resíduo formado no processo de beneficiamento de gemas foi a filtração a vácuo em escala de bancada e a filtração por trompa d'água em escala piloto. A seguir é apresentada a caracterização do lodo e são mostrados os resultados obtidos com o tratamento a partir das tecnologias propostas. Além disso, também são estimados os benefícios ambientais e econômicos obtidos com a utilização da tecnologia na indústria colaboradora.

#### **5.3.1 Caracterização do lodo**

Conforme Bruxel (2011), a análise da composição química do lodo proveniente das etapas de corte indica que é formado essencialmente por sílica (94,77%), e por outros óxidos com menor representatividade.

Os resultados da determinação do teor de óleo contido no lodo extraído diretamente nas máquinas de corte, através do método Soxhlet, estão apresentados na Tabela 02.

Tabela 02 – Determinação do teor de óleo contido no lodo proveniente do beneficiamento de gemas a partir da extração por soxhlet com solvente

| Amostra lodo (g) | Volume extraído óleo (ml) |     | Teor óleo no lodo <sup>a</sup> (%) |
|------------------|---------------------------|-----|------------------------------------|
|                  | $\bar{x}$                 | s   |                                    |
| 50               | 23,87                     | 2,2 | 43,8                               |

Fonte: Elaborado pela autora

<sup>a</sup> Teor de óleo expressa em termos de porcentagem de massa inicial de lodo ( $d_{\text{óleo}} = 0,918$  g/ml por picnometria).

Após realização de triplicata com amostras de 50 gramas, determinou-se que em média foram extraídos 23,87 mililitros (ml) de óleo diesel marítimo, com desvio padrão de 2,2, o que representava 43,8% do volume total de lodo.

Em relação ao teor de benzeno, que é caracterizado como um composto carcinogênico e pode causar inúmeros danos à saúde humana, os testes por GC/MS indicaram que não há a presença desse composto orgânico no lodo (ANEXO B). Contudo, foi verificada a presença de outros componentes derivados do benzeno, tais como: xileno, tolueno e etil-benzeno, os quais também podem causar danos devido a sua toxicidade. Entre os principais efeitos sobre a saúde humana estão: irritação nos olhos, pele e mucosas, dores de garganta, náuseas, tonturas, vômitos, desconforto gástrico, cefaleia, entre outros (PETROBRAS, 2015a; PETROBRAS, 2015b).

### 5.3.2 Filtração a vácuo

A utilização do método de extração de óleo por bomba hidrovácuo possibilita a separação do óleo diesel marítimo, contido no lodo decorrente do processo de beneficiamento das gemas, e do resíduo sólido formado por pó e pequenos cacos de gemas.

Os resultados obtidos com a adoção da tecnologia, para amostras de 10, 20 e 30 gramas, em escala de bancada, estão apresentados na tabela 03. Nas amostras de 10 gramas, recuperou-se em média 3,67 gramas, sendo o desvio padrão dos resultados igual a 2,12. Esse resultado demonstra que existe uma variabilidade significativa entre os resultados, por trataram-se de amostras ambientais, conforme já discutido anteriormente.

Tabela 03 – Resultados do tratamento do resíduo com a filtração a vácuo

| Amostra lodo | Teor de óleo no lodo |      | Montante de óleo recuperado após filtração |       |                  | Teor óleo no resíduo após filtração |                  | Total de óleo recuperado |
|--------------|----------------------|------|--|-------|------------------|-------------------------------------|------------------|--------------------------|
|              | (g)                  | %    | $\bar{x}$ (g) <sup>a</sup>                 | s (g) | (%) <sup>b</sup> | (g) <sup>a</sup>                    | (%) <sup>b</sup> | (%) <sup>c</sup>         |
| 10           | 4,73                 | 40,7 | 3,67                                       | 2,12  | 36,7             | 1,06                                | 10,6             | 77,6                     |
| 20           | 5,52                 | 27,6 | 4,36                                       | 0,35  | 21,8             | 1,16                                | 5,8              | 80,0                     |
| 30           | 10,05                | 33,5 | 4,91                                       | 0,35  | 16,4             | 5,14                                | 17,1             | 48,9                     |

Fonte: Elaborado pela autora

<sup>a</sup> Massa obtida através da multiplicação do volume de óleo pela densidade ( $d_{\text{óleo}}=0,918$  g/ml por picnometria).

<sup>b</sup> Em relação ao total da amostra.

<sup>c</sup> Em relação ao total de óleo presente na amostra.

Nas amostras de 20 gramas, a recuperação média de óleo presente no lodo foi de 4,36 gramas, com desvio padrão de 0,35. E, nas amostras de 30 gramas, foi possível extrair em média 4,91 gramas de óleo a partir do tratamento do resíduo com filtração a vácuo, sendo o desvio padrão também igual a 0,35.

Esses resultados indicam que, em relação ao total de óleo contido nas amostras de 10, 20 e 30 gramas, foi possível recuperar 77,6%, 80% e 48,9%, respectivamente. Assim, verifica-se que, em termos percentuais, os melhores resultados foram obtidos para a amostra de 10 e 20 gramas, em relação ao total de óleo presente inicialmente na amostra. Esse resultado se deve à lâmina de resíduo formado, durante a filtração, no interior do funil, sendo que há o preenchimento adequado da superfície do funil, melhorando o vácuo formado. Já para a amostra de 30 gramas, por haver aumento de espessura da lâmina de resíduo, a filtração se torna menos adequada.

### 5.3.3 Filtração por trompa d'água

A filtração por trompa d'água permite a separação do óleo diesel marítimo e do resíduo sólido contido no lodo em uma escala piloto, podendo ser aplicada em indústrias. Os resultados médios obtidos com a utilização da trompa d'água, após a realização da triplicata, estão apresentados na Tabela 04.

Tabela 04 – Resultados do tratamento do resíduo com a trompa d'água

| Amostra lodo<br>(g) | Teor de óleo no lodo        |       |                  | Montante de óleo recuperado após trompa d'água |       |                  | Teor óleo no resíduo após trompa d'água |       |                  | Total de óleo recuperado |
|---------------------|-----------------------------|-------|------------------|--|-------|------------------|---|-------|------------------|--------------------------|
|                     | $\bar{x}$ (g) <sup>ab</sup> | s (g) | (%) <sup>c</sup> | $\bar{x}$ (g) <sup>b</sup>                     | s (g) | (%) <sup>c</sup> | $\bar{x}$ (g) <sup>bd</sup>             | s (g) | (%) <sup>c</sup> | (%) <sup>e</sup>         |
| 1000                | 406,20                      | 55,15 | 40,6             | 257,9  | 16,69 | 25,8             | 131,6                                   | 7,01  | 13,1             | 63,5                     |

Fonte: Elaborado pela autora

<sup>a</sup> Calculado a partir de amostra de 100 g do lodo bruto através do método Soxhlet.

<sup>b</sup> Massa obtida através da multiplicação do volume de óleo pela densidade ( $d_{\text{óleo}} = 0,918$  g/ml por picnometria).

<sup>c</sup> Em relação ao total da amostra.

<sup>d</sup> Calculado a partir de amostra de 100 g do resíduo após trompa d'água através do método Soxhlet.

<sup>e</sup> Em relação ao total de óleo presente na amostra.

O uso da tecnologia permitiu a recuperação média de 257,9 gramas de um total de 406,2 gramas de óleo contido nas amostras avaliadas (triplicata), ou seja, permitiu que fosse recuperado 63,5% do total de óleo contido na amostra. Dessa forma, a tecnologia contribui para a recuperação parcial do óleo (lubrificante), que pode ser reutilizado no processo produtivo, e também do passivo ambiental, enquanto que o solvente poderá ser reutilizado em novos tratamentos através da tecnologia proposta.

Esse resultado demonstra que a tecnologia recomendada é eficiente para a recuperação e reciclagem do óleo diesel marítimo, ao mesmo tempo em que reduz a geração de resíduo que necessita ser encaminhado para aterros ou centrais de recebimento e destinação de resíduos Classe I, ou ainda para unidades licenciadas de reprocessamento ou co-processamento, reduzindo, assim, também o passivo ambiental da empresa. Em consequência, a empresa beneficiadora de gemas, ao introduzir esse tratamento, além de estar adotando práticas mais sustentáveis de gestão da produção, também estará obtendo benefícios financeiros em decorrência da redução da necessidade de compra de menores volumes de óleo, assim como, do menor custo pela disposição de resíduos.

Outra vantagem de sua adoção é que não há a formação de novos resíduos decorrentes do processo de tratamento, como ocorreu no trabalho de Cecchin (2011). Esse autor propôs o tratamento do lodo com solução de hidróxido de sódio (NaOH) e aquecimento da mistura. Após diversos testes, com a utilização de diferentes concentrações de hidróxido de sódio, temperatura, tempo de agitação e sedimentação, os resultados indicaram uma remoção de mais de 80% de óleo. Contudo, com a adoção desse método, obteve-se a geração de um segundo lodo, resultante da saponificação do lodo, que não pode ser reaproveitado, conforme já apresentado anteriormente (CECCHIN, 2011).

### 5.3.4 Benefícios do uso da tecnologia

Em 2014, a empresa colaboradora beneficiou em média 4 toneladas de gemas por mês e, como consequência, foram gerados 1,7 toneladas de lodo, conforme já apresentado anteriormente. Caso a empresa encaminhasse esse resíduo para um aterro ou central de recebimento e destinação de resíduos Classe I, teria um custo mensal de, aproximadamente, R\$ 493,00 (Tabela 05).

Tabela 05 – Desempenho mensal de variáveis a partir uso de tecnologia

| Indicador                                       | Desempenho com processo lavagem | Desempenho com trompa d'água |
|---|---------------------------------|------------------------------|
| Consumo de óleo “virgem” (l/mês)                | 450                             | 295                          |
| Gasto mensal <sup>1</sup> (R\$)                 | 1.237,50                        | 811,25                       |
| Reciclagem de óleo (litros/mês)                 | 375                             | 530                          |
| Geração de lodo (t)                             | 1,7                             | 1,56                         |
| Custo com disposição do lodo (R\$) <sup>2</sup> | 493,00                          | 452,40                       |
| Economia (R\$)                                  | 1.031,25                        | 1.498,10                     |

Fonte: Elaborado pela autora

<sup>1</sup> Considerando o custo de R\$ 2,75 por litro.

<sup>2</sup> Calculado considerando a densidade do óleo igual a 0,918.

<sup>3</sup> Custo de disposição do m<sup>3</sup> de lodo é igual a R\$ 240,00 na Fundação PROAMB (conforme informações fornecidas pelo telefone), mais frete (o custo de transporte é de R\$500,00 por caminhão de 10 toneladas), assim, esse é o gasto que a empresa possui a cada 6 meses aproximadamente.

Com o objetivo de reciclar parcialmente o óleo, as empresas que participam do APL de Gemas e Joias no Estado, incluindo a empresa parceira deste estudo, utilizam um processo de lavagem do lodo. Esse processo consiste na adição de água ao lodo, sendo a mistura introduzida em uma betoneira, na proporção de 1:1, seguido de uma agitação por alguns minutos. Após, por decantação simples, ocorre a separação da fase sólida da fase líquida. A fase sólida fica armazenada em tonéis no pátio da empresa, aguardando um tratamento ou posterior encaminhamento para um aterro ou central de recebimento e destinação de resíduos Classe I<sup>21</sup>. A fase líquida é encaminhada para uma estação de tratamento, para que, por decantação, seja possível separar o óleo e a água, sendo o óleo reutilizado no processo produtivo.

Esse tratamento permite a recuperação de aproximadamente 45% do óleo contido no

<sup>21</sup> Em contato telefônico com a Fundação PROAMB, foi informado que este resíduo não precisa ser encaminhado para as unidades licenciadas para reprocessamento ou co-processamento, conforme FEPAM (2010), por não atingir um poder calorífico de 1.620 quilocalorias, por isso, o resíduo pode ser encaminhado para uma central de recebimento de resíduos Classe I, sendo o custo desta destinação considerada na presente avaliação. Contudo, sugere-se que antes de realizar essa escolha seja realizada a análise do lodo para a confirmação da informação.

lodo, conforme informado pela empresa colaboradora, o que resulta em aproximadamente 375 litros. Em consequência, reduz-se a necessidade de compra mensal de óleo “virgem” para garantir a produção. Em termos econômicos, isso representa uma economia de R\$ 1.031,25 na aquisição de combustível virgem devido a reciclagem.

Se incorporada a tecnologia de trompa d’água na empresa, extrapolando os resultados da escala piloto, seria possível recuperar aproximadamente 530 litros de óleo mensalmente, diminuindo a necessidade de compra de óleo “virgem” para 295 litros, além de reduzir o gasto com a sua aquisição, que passaria a ser de R\$ 811,25. Esse tratamento também contribui para a redução da geração de resíduo, reduzindo também o custo de sua disposição, que passaria a ser de R\$ 452,40 por mês. Em consequência, se comparada ao processo que a empresa já vem utilizando, a substituição do tratamento poderia gerar uma economia adicional de R\$ 466,85 por mês<sup>22</sup>.

Diante desses resultados, pode-se destacar que a utilização de algum sistema de tratamento do lodo, além de trazer benefícios econômicos diretos para a empresa e reduzir o volume de resíduo gerado, também contribui para a inertização de elementos potencialmente tóxicos, ou seja, quanto menor for o teor de óleo no resíduo, menores serão os impactos ambientais causados.

Além disso, conforme exposto anteriormente, uma alternativa para a reciclagem do resíduo seco é encontrada nos trabalhos de Bruxel (2011) e Bruxel et al. (2012) os quais propõem a sua incorporação na massa cerâmica<sup>23</sup>. Isso é possível dadas as características em comum apresentadas pelo lodo e pela argila, visto que ambos possuem em sua composição a presença de sílica. Em consequência, a empresa não precisaria encaminhar o lodo para o aterro industrial ou co-processamento, deixando assim de ter o custo de disposição do resíduo, além de reduzir o passivo ambiental da empresa, garantindo um destino final ambientalmente correto.

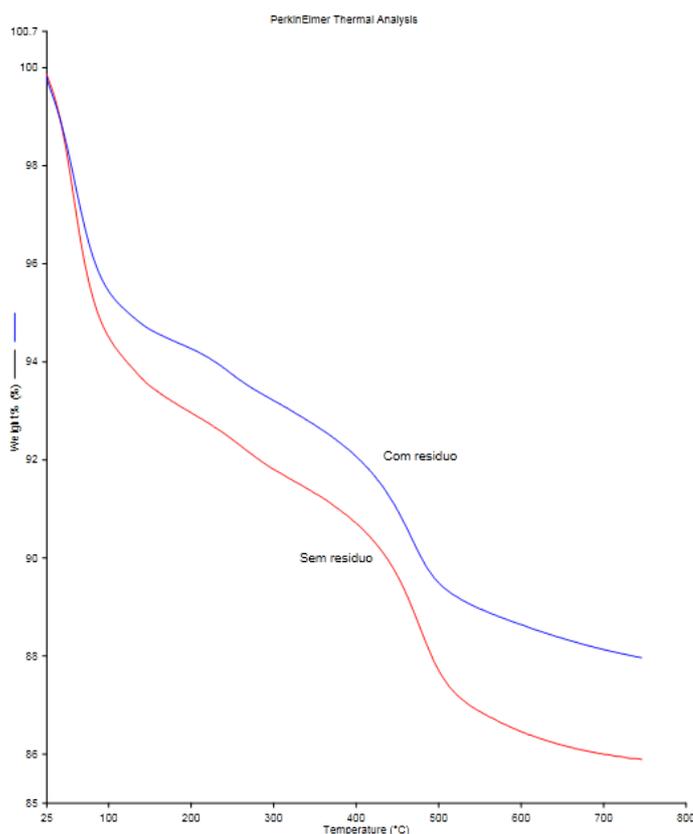
---

<sup>22</sup> Neste cálculo, não foram considerados os investimentos necessários para a incorporação da tecnologia em escala industrial, no entanto, acredita-se que esse valor não seja significativo, compensando o investimento, uma vez que para o desenvolvimento da tecnologia em escala piloto realizou-se um investimento de R\$ 400,00. Além disso, não foi considerado o gasto com a aquisição do solvente necessário para o tratamento, pois, conforme detalhado no capítulo anterior, este pode ser reutilizado ao realizar-se a sua destilação. No entanto, como se trata de um solvente volátil, para evitar perdas, o sistema em escala industrial deverá ser em ciclo fechado.

<sup>23</sup> A autorização para a utilização deste procedimento foi solicitada a FEPAM, órgão estadual responsável pelos integrantes do APL de Gemas e Joias, mas até o momento o processo continua em análise e ainda não foi autorizado, conforme informado pelos gestores da empresa colaboradora.

Nesse sentido, buscando contribuir com as avaliações já realizadas nos trabalhos anteriores, ainda se realizou a análise térmica gravimétrica (TGA), a qual indica se ocorre perda de massa em função da mudança de temperatura dos blocos cerâmicos produzidos sem (amostra de referência) e com a incorporação do lodo (FIGURA 26).

Figura 26 – Análise térmica gravimétrica dos blocos cerâmicos com e sem a incorporação do lodo



Fonte: CTTPA

Os resultados das curvas demonstram que o primeiro decaimento delas ocorreu a aproximadamente 110 °C, sendo similar entre elas, e representa aproximadamente 5% de perda de massa, relativo à perda de água. Já o segundo decaimento ocorreu entre 400°C e 500°C, devendo estar relacionado à perda de matéria orgânica e, neste caso, observa-se uma perda maior de massa do tijolo sem o resíduo. Assim, pode-se observar que a perda de massa total do tijolo sem o resíduo foi de aproximadamente 14% da massa, enquanto que o tijolo que continha o resíduo apresentou uma perda total de 12%.

Esses resultados foram similares aos encontrados no estudo desenvolvido por Batista, Nascimento e Lima (2009). No trabalho, os autores avaliaram a análise térmica de uma amostra de argila utilizada na composição dos blocos cerâmicos. No caso da argila, a primeira

perda de massa ocorreu entre 100°C e 200°C e representou aproximadamente 1% da massa, também relativa à perda de água. A segunda perda da massa foi de 6,8% e ocorreu entre 200°C e 600°C, devido à perda de matéria orgânica e hidroxilas e de 600°C a 1000°C ocorreu uma perda de mais 1,8%, totalizando uma perda de 9% da massa total.

As amostras dos blocos cerâmicos também foram submetidas aos testes de cromatografia gasosa (CG/MS), com o objetivo de identificar os constituintes orgânicos voláteis presentes nas amostras. Esses testes foram desenvolvidos, utilizando-se dois métodos (HeadSpace e líquido) a partir de amostras da parte externa e interna dos blocos cerâmicos com lodo e sem adição de lodo (ANEXO A). Contudo, em nenhuma das análises identificou-se a presença de contaminantes como benzeno, xileno, tolueno ou etil-benzeno.

Dessa forma, com base nos resultados encontrados, pode-se afirmar que a tecnologia proposta neste trabalho contribui para a recuperação e reciclagem de um maior volume de óleo se comparada ao tratamento que vem sendo adotado nas empresas beneficiadoras de gemas, assim como, possibilita a reciclagem do resíduo sólido em outras empresas, como é o caso da indústria cerâmica. A tecnologia também auxilia na redução dos impactos ambientais causados, uma vez que reduz a concentração do teor de óleo contido no lodo.

A seguir é apresentada a proposta de indicadores de sustentabilidade direcionada as empresas de beneficiamento de gemas.

#### **5.4 Proposta de indicadores de sustentabilidade**

A utilização de um conjunto de indicadores de sustentabilidade contribui para o monitoramento e a avaliação pela busca de condições necessárias para o alcance da sustentabilidade de diferentes organizações. Embora isso não constitua uma condição suficiente para o atendimento do objetivo, os indicadores fornecem informações importantes sobre o desempenho da própria organização, assim como, sobre o seu impacto sobre os demais agentes envolvidos na atividade.

A proposta de indicadores desenvolvida neste trabalho foi elaborada a partir das características e da realidade das empresas que beneficiam gemas. Dentre essas características, cabe ressaltar:

a) Em termos econômicos, a viabilidade econômica da empresa de beneficiamento de gemas garante a geração de emprego e renda para a sociedade, de forma geral, contribuindo para sustentabilidade. Em consequência, a empresa precisa saber gerenciar adequadamente suas atividades, minimizando custos e maximizando lucros, de modo a garantir um retorno satisfatório aos seus proprietários, assim como, respeitar as normas legais. Ademais, como esse setor utiliza como matéria-prima principal as gemas, que são recursos naturais não renováveis, para garantir a sustentabilidade da atividade precisa conseguir minimizar a utilização desse insumo e agregar um maior valor aos seus produtos;

b) Em termos ambientais, as empresas do setor possuem como principais desafios o melhor aproveitamento dos recursos não renováveis e a redução da geração de resíduos, os quais são considerados perigosos, conforme já exposto anteriormente no trabalho. No entanto, há certa dificuldade nessa tarefa, visto que as gemas são irregulares e apresentam diferentes características quanto à dureza e composição. Desse modo, para alcançar a sustentabilidade, as empresas precisam melhor aproveitar, e buscar transformar em produtos, o maior percentual de matérias-primas quanto for possível. Também é fundamental que a empresa respeite a legislação ambiental, adquirindo matérias-primas de fornecedores regularizados e não deposite os resíduos em locais inadequados, respeitando assim o meio ambiente e a sociedade. E, na medida do possível, os resíduos devem ser reaproveitados dentro das próprias empresas ou dentro de outras, com o objetivo de diminuir o passivo ambiental decorrente da atividade.

c) Os aspectos sociais estão intrinsecamente relacionados aos aspectos econômicos e ambientais, visto que a empresa contribuirá para a sustentabilidade ao gerar emprego e renda para a população da comunidade local, ao mesmo tempo em que adotar práticas de gestão ambiental e não poluir o meio ambiente, gerando assim, um impacto positivo para a sociedade. Como a maior parte das empresas deste setor é de pequeno porte, não se observam outros envolvimento com a comunidade local. Ademais, a empresa ainda deve respeitar a legislação trabalhista e garantir a qualidade de vida do trabalhador.

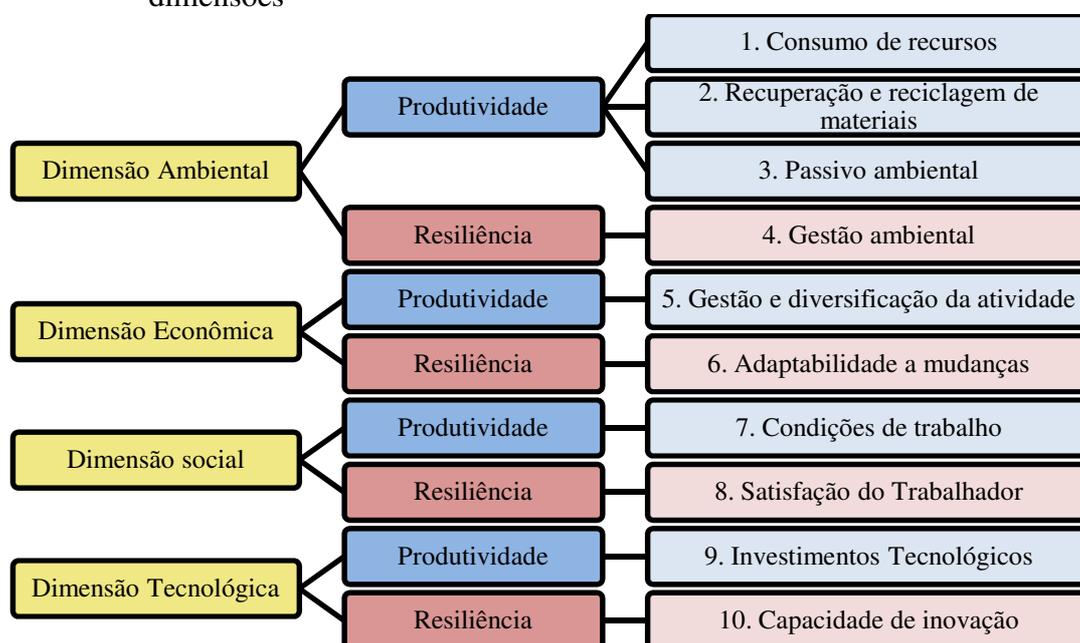
d) A incorporação de tecnologias no setor é considerada uma das principais dificuldades, conforme apresentado no capítulo 03, pois a maior parte do setor é composta basicamente de micro ou pequenas empresas, com baixa capacidade de investimento. Por outro lado, a incorporação de tecnologias é uma das alternativas possíveis para conseguir melhorar a produtividade e a qualidade das peças produzidas, as quais também foram

consideradas como pontos críticos do setor. Assim, entende-se que as empresas que conseguirem introduzir avanços tecnológicos terão melhores condições para o alcance da sustentabilidade, se comparadas àquelas que não o fazem.

Diante disso, entende-se que as empresas de beneficiamento de gemas poderão alcançar condições mais sustentáveis se forem capazes de gerar retornos financeiros aos seus proprietários, se produzirem de forma ambientalmente correta, com a incorporação de tecnologias limpas, que permitam minimização da geração de resíduos e ainda contribuam para o desenvolvimento social das comunidades em que estão inseridas.

Assim, a proposta de indicadores leva em consideração quatro dimensões (ambiental, econômica, social e tecnológica), dois atributos da sustentabilidade (produtividade e resiliência) e é composta por 10 indicadores (quantitativos e qualitativos), conforme apresentado na Figura 27. Esses indicadores são subdivididos ainda em 24 variáveis<sup>24</sup>.

Figura 27 – Proposta de indicadores para avaliação das condições de sustentabilidade em empresas do setor de beneficiamento de gemas, classificados por atributos e dimensões



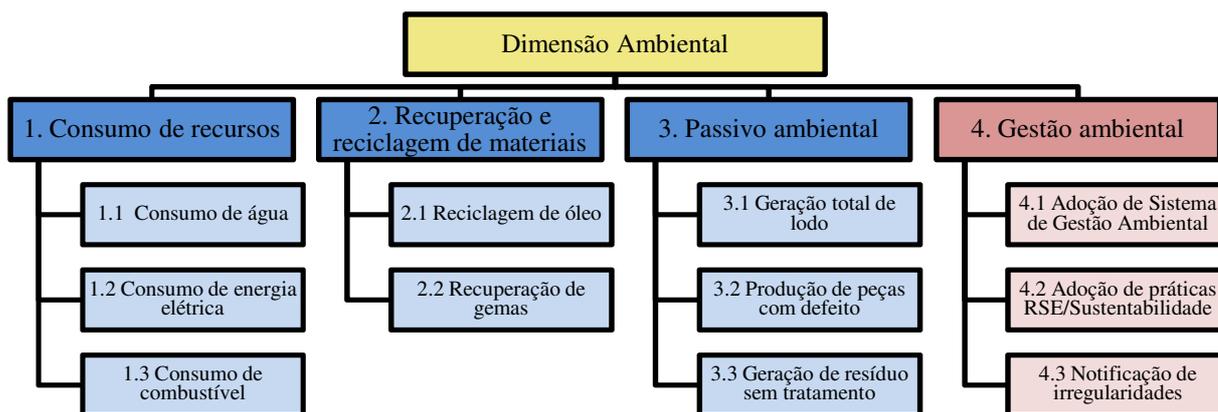
Fonte: Elaborado pela autora

A dimensão ambiental (FIGURA 28) é composta por quatro indicadores, que buscam avaliar, em termos de produtividade, o consumo de recursos naturais, a recuperação e

<sup>24</sup> Na proposta não foi incluída nenhuma variável que seja de obrigatoriedade da empresa, ou seja, vinculada ao cumprimento de requisitos legais, como por exemplo, a aquisição de materiais em jazidas regularizadas, o fornecimento de equipamentos de proteção individual para os funcionários, a não utilização de mão de obra informal (não registro de funcionários), a não contratação de mão de obra infantil, entre outros.

reciclagem de materiais e o passivo ambiental decorrente do processo de beneficiamento; e, em termos de resiliência, a gestão ambiental da atividade. Além disso, cabe mencionar que os indicadores associados ao atributo produtividade são indicadores tradicionais, considerados em avaliações do ciclo de vida de um produto, pois buscam mensurar as entradas e saídas do processo produtivo.

Figura 28 – Dimensão ambiental com indicadores e variáveis



Fonte: Elaborado pela autora

O indicador consumo de recursos é constituído de três variáveis que buscam avaliar o consumo dos principais recursos utilizados no processo produtivo de beneficiamento de gemas, a saber: energia elétrica (kWh), água (m<sup>3</sup>) e óleo diesel marítimo (l)<sup>25</sup>. O consumo desses materiais está diretamente associado à quantidade produzida, ou seja, quanto maior a produção, maior tende a ser o consumo, sendo o inverso também verdadeiro. Por isso, cada uma dessas variáveis foi expressa em termos de toneladas (t) produzidas, isto é, o consumo de água em m<sup>3</sup>/t, o consumo de energia em kWh/t e o consumo de óleo em l/t<sup>26</sup>. Para fins de parâmetro, a melhor situação (sustentável) será aquela em que o consumo de materiais for o menor possível por quantidade produzida, pois isso representará uma maior produtividade.

O segundo indicador é composto de duas variáveis que medem a recuperação e reciclagem de materiais: de óleo diesel marítimo e de resíduos de gemas<sup>27</sup>. Como ambos os

<sup>25</sup> Como o consumo dessas variáveis é expresso em termos de quantidade beneficiada de gemas, não foi considerada nesta proposta nenhuma variável que demonstre o consumo de gemas em si, para evitar que fosse inserida uma informação dupla.

<sup>26</sup> A análise do valor absoluto de cada variável também poderia ser interessante para a gestão da atividade, no entanto, para isso, seria necessário fazer o levantamento de dados por um período mais longo de tempo para que fosse possível obter parâmetros de referência.

<sup>27</sup> Não foi inserido nesta proposta nenhum indicador para mensurar a reciclagem de água, pois a empresa colaboradora, apesar de adotar essa prática, não tem nenhum controle sobre o volume de água reutilizada em

materiais classificam-se como materiais não renováveis, o seu uso intensivo pode prejudicar o alcance das condições de sustentabilidade do setor, por isso, o desempenho desse indicador será melhor, quanto maior for a recuperação e reciclagem de materiais em relação ao total de materiais consumidos. Ambas as variáveis são expressas em termos percentuais.

O terceiro indicador avalia o passivo ambiental decorrente do processo produtivo. Ele é formado por três variáveis que mensuram a geração total de lodo (principal resíduo), a produção de produtos com defeito e o volume de lodo não tratado e que necessita ser encaminhado para um aterro ou central de recebimento e destinação de resíduos Classe I ou indústrias de co-processamento. A primeira variável busca mensurar a relação entre a quantidade total de lodo gerado no processo produtivo e a quantidade total de gemas beneficiadas. A segunda variável representa a relação entre o volume de gemas beneficiadas com defeito e o total de gemas consumidas. E a terceira variável mostra a relação entre o volume de lodo sem tratamento e o total de lodo gerado no processo de produção. As três variáveis são expressas em termos percentuais. Considera-se o sistema mais sustentável, quanto menor for o resultado para esses indicadores.

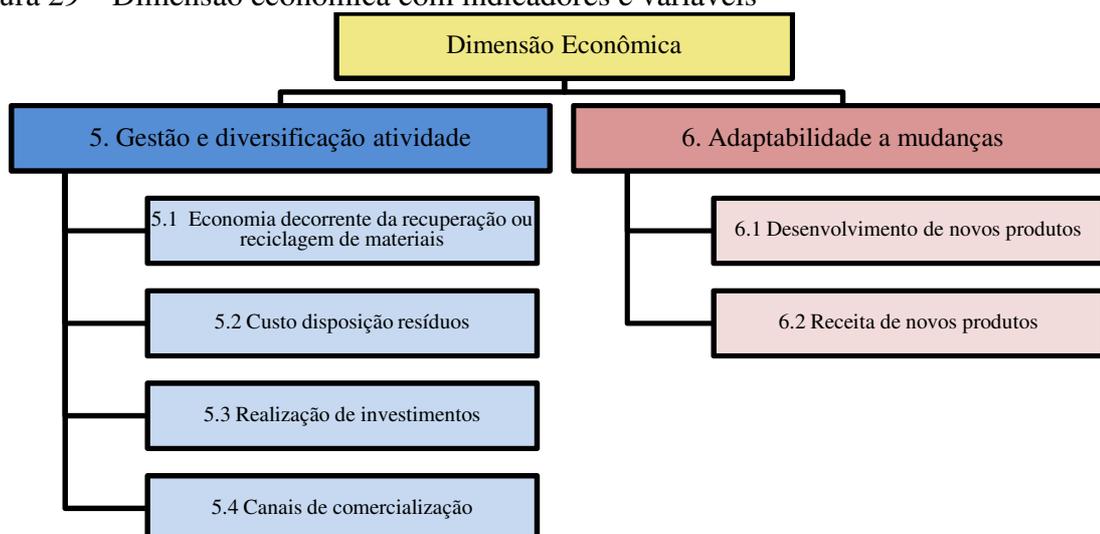
O quarto indicador da dimensão ambiental está associado à gestão ambiental da atividade. Ele é composto por três variáveis qualitativas, as quais indicam se a empresa utiliza ou não algum sistema de gestão ambiental e/ou práticas de responsabilidade sócio-empresarial (RSE) ou sustentáveis e, ainda, se recebeu notificações em decorrência de não conformidades. Nesse caso, o melhor resultado será obtido quando a empresa fizer adoção de sistemas de gestão e práticas sustentáveis e não sofrer nenhuma notificação por irregularidades.

A dimensão econômica (FIGURA 29) é formada por dois indicadores que têm por objetivo analisar a gestão e diversificação da atividade e a capacidade de adaptabilidade da empresa às mudanças no mercado.

---

relação ao volume total de água consumida. E, pelo fato do custo da água não ser significativo no custo total da empresa, o investimento de mensurar a reciclagem não é considerado relevante por eles. Apesar disso, essa variável pode ser inserida em estudos posteriores, caso as empresas realizem esse monitoramento.

Figura 29 – Dimensão econômica com indicadores e variáveis



Fonte: Elaborado pela autora

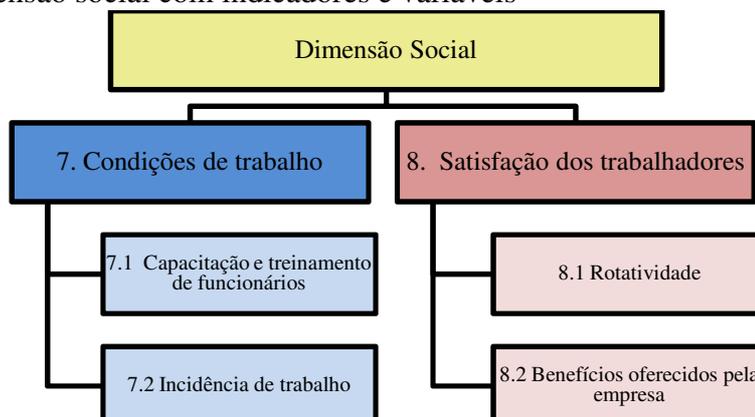
O indicador gestão e diversificação da atividade está vinculado ao atributo produtividade e é expresso por quatro variáveis<sup>28</sup>. A primeira variável, economia decorrente da recuperação e reciclagem de materiais, indica se a empresa está obtendo benefícios econômicos através da recuperação e reciclagem de materiais e resíduos. Essa variável é expressa em termos percentuais, pois é calculada a partir da relação entre o valor monetário obtido em termos de economia e o custo total da empresa. A segunda variável, custos com a disposição dos resíduos, informa o gasto que a empresa tem por não tratar o resíduo e necessitar encaminhá-lo para terceiros. Essa variável também é expressa em termos percentuais a partir de sua relação com o custo total da empresa. A variável realização de investimentos é qualitativa e informa se a empresa está ou não realizando investimentos no processo produtivo. Entende-se que qualquer investimento no processo produtivo contribui para o alcance das condições de sustentabilidade, mas não se considerou, neste momento, o valor monetário deste investimento. E, a quarta variável, canais de comercialização, expressa a dependência ou não da empresa para a oferta de seus produtos no mercado, por isso, quanto maiores forem os canais de comercialização, mais garantida tende a ser a manutenção das receitas e melhor o desempenho da empresa. O melhor resultado desse indicador será obtido quanto maiores forem os resultados das variáveis, com exceção da variável que mensura os custos com a disposição dos resíduos, pois esse valor deve ser minimizado.

<sup>28</sup> Como o objetivo do trabalho era avaliar as condições de sustentabilidade em empresas que beneficiam gemas com a incorporação de tecnologias visando a recuperação e reciclagem, considerando as estratégias de P + L e de ACV, não foi incluída nenhuma variável que mensurasse o faturamento ou valor adicionado na produção. No entanto, as empresas, se julgarem a variável adequada, poderão introduzi-la nos seus controles.

Outro indicador que compõe a dimensão econômica, associado ao atributo resiliência, é a adaptabilidade a mudanças. Esse indicador é formado por duas variáveis que revelam a capacidade de desenvolvimento de novos produtos para atender às exigências do mercado, assim como a receita proveniente dessa comercialização em relação ao percentual total faturado pela empresa. Como o mercado de beneficiamento de gemas produz produtos considerados supérfluos, não essenciais para a sobrevivência dos homens, ele mostra-se bastante suscetível a mudanças de mercado. Por isso, a primeira variável classifica-se como qualitativa e busca avaliar se a empresa é capaz ou não de desenvolver novos produtos. A segunda variável é expressa em termos percentuais e busca mostrar a relação entre a receita proveniente desses novos produtos em relação ao faturamento total da empresa. Neste caso, o melhor desempenho será obtido quando esses valores forem maximizados.

Já a dimensão social, é composta por dois indicadores que visam avaliar as condições de trabalho e a satisfação dos trabalhadores (FIGURA 30)<sup>29</sup>.

Figura 30 – Dimensão social com indicadores e variáveis



Fonte: Elaborado pela autora

O atributo produtividade, da dimensão social, é expresso pelo indicador condições de trabalho, formado por duas variáveis que demonstram a realização de capacitações e treinamentos dos funcionários e o número de incidência de acidentes de trabalho. Como não é possível avaliar a qualidade das capacitações e do treinamento por meio de indicadores genéricos, as duas variáveis são apresentadas em termos qualitativos, demonstrando se há ou

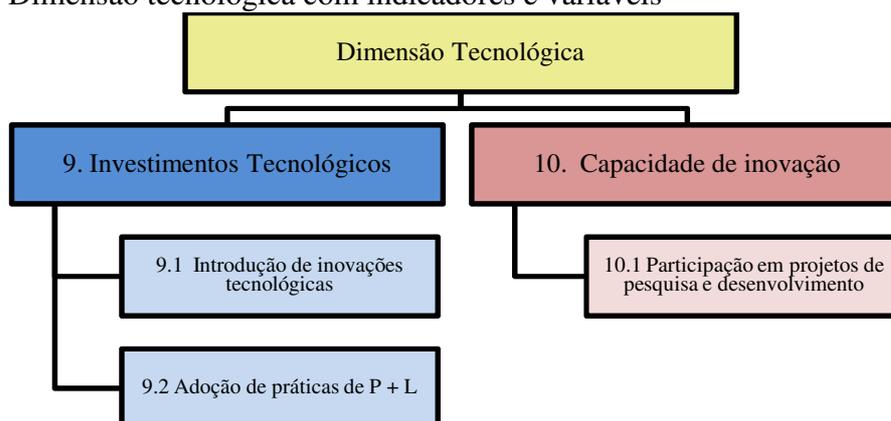
<sup>29</sup> Embora a literatura sugira a inserção de outras variáveis associadas à inserção da empresa na comunidade local para dimensão social, pelo fato das empresas que compõem o setor, conforme já exposto, classificarem-se, em sua maioria, como micro e pequenas empresas, entende-se que estas não disporão de muitos recursos para o atendimento desse objetivo. Por isso, optou-se por mensurar a sustentabilidade das empresas diretamente pelas condições de trabalho e pela satisfação dos trabalhadores. Desse modo, os efeitos sobre a comunidade local se dão de forma indireta pela geração de emprego e renda e pela não degradação do meio ambiente.

não a incidência dos eventos. Espera-se que nenhuma empresa represente risco de trabalho aos seus funcionários.

O indicador associado ao atributo resiliência, na dimensão social, indica a satisfação dos trabalhadores, sendo também composto por duas variáveis que expressam o índice de rotatividade e os benefícios oferecidos pelas empresas como meio de incentivar os funcionários a permanecerem na atividade. A primeira variável está associada ao fluxo de entradas e saídas de pessoal na empresa, sendo mensurada em termos percentuais a partir da relação entre as admissões/desligamentos e o total de funcionários ao longo de um período. Segundo Chiavenato (2009, p. 42), “em toda a organização saudável, ocorre normalmente um pequeno volume de entradas e saídas de pessoas ocasionando uma rotatividade meramente vegetativa e de simples manutenção do sistema”, porém, a rotatividade será prejudicial se for significativa. Já a segunda variável que compõe este indicador procura avaliar se a empresa oferta ou não algum benefício, sem entrar no mérito do número ou do valor que isso representa, sendo, por isso, também classificada como qualitativa.

E por fim, a dimensão tecnológica (FIGURA 31), também constituída por dois indicadores, que mostram a capacidade de realizar inovações e investimentos tecnológicos, uma vez que, para alcançar as condições de sustentabilidade, as empresas precisam tornar seus processos produtivos mais eficientes, conforme debatido na literatura.

Figura 31 – Dimensão tecnológica com indicadores e variáveis



Fonte: Elaborado pela autora

O atributo produtividade da dimensão tecnológica é expresso pelo indicador investimentos tecnológicos. Esse indicador é formado por duas variáveis que visam informar

se as empresas estão introduzindo inovações tecnológicas<sup>30</sup>, assim como práticas de P + L, de modo a contribuir com o uso mais eficiente de recursos, e assim, trazendo impactos positivos sobre as dimensões ambiental, econômica e social. Como não existem parâmetros para essas variáveis, elas foram expressas em termos qualitativos.

E, por fim, o indicador capacidade de inovação. Está associado ao atributo resiliência, da dimensão tecnológica, e é expresso pela variável participação em projetos de pesquisa e desenvolvimento ou em projetos setoriais, cujo objetivo seja desenvolver ações que beneficiam o setor. Tanto o desempenho desse indicador, como dos demais que compõem a dimensão tecnológica são fundamentais para garantir o aumento da eficiência dos processos produtivos, por isso, quanto melhor for o desempenho desses indicadores, mais sustentáveis tendem a ser os sistemas.

## **5.5 Avaliação das condições de sustentabilidade**

A partir da proposta de indicadores de sustentabilidade, foram avaliadas as condições de sustentabilidade da empresa Pedras Oriente, colaboradora deste estudo e os resultados dos indicadores foram apresentados por dimensão da sustentabilidade. Em seguida, se apresenta o resultado do índice de sustentabilidade dessa empresa.

### **5.5.1 Dimensão Ambiental**

A dimensão ambiental busca retratar o impacto que a atividade produtiva pode causar sobre o meio ambiente, assim como, identificar se a produção tem sido desenvolvida em um contexto ambientalmente correto. Os resultados para essa dimensão estão apresentados no Quadro 05.

---

<sup>30</sup> Esta variável não pode ser confundida com a variável “realização de investimentos” da dimensão econômica, pois o fato de investir na empresa, não necessariamente significa que ocorrerão melhorias tecnológicas no processo.

Quadro 05 – Resultados dos indicadores da dimensão ambiental em 2014

| Indicadores                              | Variáveis  | Resultado Empresa |
|--|--|-------------------|
| 1. Consumo de recursos                   | 1.1 Consumo de água (m <sup>3</sup> /tonelada)         | 16,25             |
|  | 1.2 Consumo de energia elétrica (kWh/tonelada)         | 2.025             |
|  | 1.3 Consumo de combustível (óleo diesel marítimo) (lt) | 112,5             |
| 2. Recuperação e reciclagem de materiais | 2.1. Reciclagem de óleo (%)                            | 45                |
|  | 2.2 Recuperação de gemas (%)                           | 8                 |
| 3. Passivo ambiental                     | 3.1 Geração total de resíduo (lodo) (%)                | 42,5              |
|  | 3.2 Produção de peças com defeito (%)                  | 4                 |
|  | 3.3 Geração de resíduo sem tratamento (lodo) (%)       | -                 |
| 4. Gestão ambiental                      | 4.1 Adoção sistema de gestão ambiental                 | Não               |
|  | 4.2 Adoção de práticas de RSE/Sustentabilidade         | Sim               |
|  | 4.3 Notificações de irregularidades                    | Não               |

Fonte: Elaborado pela autora a partir de informações da empresa Pedras Oriente.

O indicador consumo de recursos tem por objetivo mensurar o consumo dos principais materiais utilizados na atividade de beneficiamento de gemas (água, energia e combustível), sendo esse consumo diretamente proporcional ao volume de gemas beneficiadas. Em 2014, a empresa Pedras Oriente beneficiou aproximadamente 48 toneladas de gemas brutas e, para tanto, consumiu, em média por tonelada de gema beneficiada, 16,25 m<sup>3</sup> de água<sup>31</sup>, 2.025 kWh e 112,5 litros de óleo diesel marítimo, totalizando, no ano, um consumo de 780 m<sup>3</sup> de água, 97.200 kWh e 5.400 litros de óleo diesel marítimo virgem.

Embora não se tenham encontrado dados na literatura que sirvam de parâmetro para esses resultados, é possível afirmar que a maior dificuldade relacionada ao desempenho dessas variáveis está associada ao consumo de combustível, por tratar-se de um recurso não renovável. Em termos de consumo de energia, a empresa somente utiliza como fonte energética a energia elétrica, que, no Brasil, é em maior parte proveniente de fontes renováveis, por isso o consumo de energia não se torna um problema significativo na busca pelas condições de sustentabilidade. Já em termos do consumo de água, se comparado a outras indústrias<sup>32</sup>, também não foi excessivo.

O segundo indicador está relacionado a recuperação e reciclagem de materiais, sendo avaliado a partir de duas variáveis que mensuram a reciclagem de óleo diesel marítimo e o

<sup>31</sup> Este foi o consumo total de água da empresa, incluindo o consumo de água utilizado diretamente no processo produtivo, a água consumida nos bebedouros e ainda utilizada nos vasos sanitários (não há nenhum controle sobre o consumo utilizado exclusivamente na produção). Ela foi proveniente de duas fontes de água: poço artesiano localizado na área da empresa e rede de distribuição da água municipal.

<sup>32</sup> Como ilustração, cita-se o consumo de água por tonelada de produto produzido em algumas indústrias selecionadas: papel de 80 a 2.000 m<sup>3</sup>; açúcar de 3 a 400 m<sup>3</sup>; aço de 2 a 350 m<sup>3</sup>; gasolina de 0,1 a 40 m<sup>3</sup>; sabão de 1 a 35 m<sup>3</sup>; cerveja de 8 a 25 m<sup>3</sup> (MARGAT; ANDRÉASSIAN, 2008 apud UNESCO, 2009). De acordo com Walling e Otts (1967), para produzir uma tonelada de aço são necessários 34 m<sup>3</sup> de água e para cada tonelada de minério são utilizados 5,9 m<sup>3</sup> de água.

reaproveitamento de gemas. No que se refere à variável reciclagem de óleo, em 2014 esta foi de aproximadamente 45% do óleo utilizado no processo. Essa recuperação foi possível em função do tratamento de lodo que é realizado na empresa pelo processo de lavagem e, em termos de quantidade, representou 4.500 litros de óleo. E, quanto ao reaproveitamento de gemas, este foi de apenas 8% do volume total de rejeitos. Ao longo do ano, aproximadamente 29,4 toneladas de gemas (61,25% do total) foram depositadas no pátio como rejeitos do processo de beneficiamento e apenas 2,35 toneladas foram reutilizadas no próprio processo produtivo para a produção de novas peças. Dessa forma, acredita-se que a empresa deve buscar desenvolver novas técnicas que visem uma P + L, com o intuito de reutilizar uma maior quantidade de materiais, em especial de gemas.

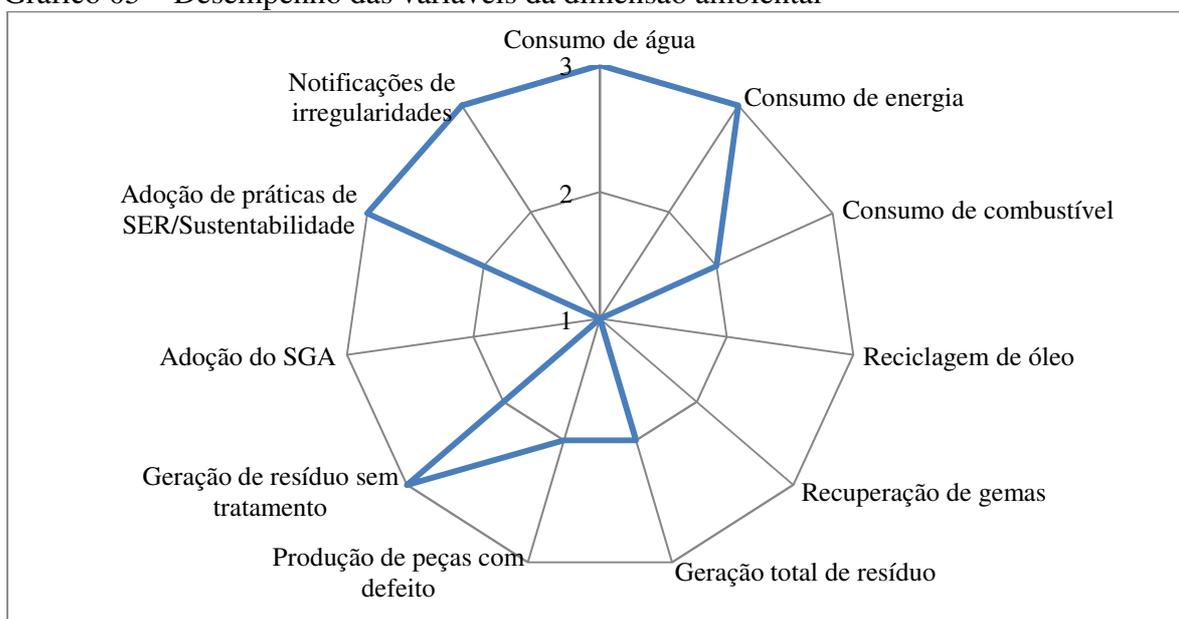
Em termos de passivo ambiental, conforme apresentado anteriormente, essa atividade gera um grande impacto, devido ao baixo percentual de produto acabado, visto que apenas 7,5% em média do volume de gemas são comercializadas como produto final. Em 2014, a empresa colaboradora gerou aproximadamente 20,4 toneladas de lodo, representando 42,5% do volume total de gemas beneficiadas. Esse lodo foi acondicionado em tonéis, enquanto aguarda por um tratamento mais eficiente, caso contrário, deverá ser encaminhado para um aterro industrial.

Em consequência, o indicador de resíduo sem tratamento, que expressa o percentual de lodo encaminhado para um aterro ou central de recebimento e destinação de resíduos Classe I, acabou obtendo um resultado nulo, mas que deve ser avaliado com cuidado, pois o passivo permanece depositado no pátio da empresa. Além disso, aproximadamente 2 toneladas de gemas beneficiadas apresentaram algum tipo de defeito ao final do processo, o que representa 4% do total de gemas consumidas.

O indicador gestão ambiental, relacionado ao atributo resiliência, indica a capacidade de recuperação e reprodução do sistema. No que se refere a essas variáveis, embora a empresa colaboradora não adote um sistema de gestão ambiental, ela adotou, em 2014, diversas práticas que contribuem para a sustentabilidade, entre as quais pode-se citar: o uso de técnicas que visem uma P + L, como o reaproveitamento de resíduos (óleo, gemas, água); a utilização de estação de tratamento de resíduos visando a reciclagem de água e óleo; o desenvolvimento de um novo produto a partir do resíduo formado por pó de gema; investimentos que visam tornar os processos produtivos mais eficientes. Além disso, a empresa não cometeu nenhuma irregularidade, contribuindo para o desempenho do indicador.

A partir dos resultados, cada variável foi ponderada em relação à faixa de 1 (pior situação) a 3 (melhor situação). O gráfico 05 mostra o desempenho de cada variável da dimensão ambiental após a realização da ponderação. Ele demonstra que as variáveis consumo de água, consumo de energia, geração de resíduo sem tratamento, adoção de práticas de RSE ou sustentabilidade e notificações por irregularidade apresentaram o melhor desempenho, enquanto que as variáveis reciclagem de lubrificante e adoção de SGA apresentaram o pior desempenho, merecendo uma maior atenção da empresa.

Gráfico 05 – Desempenho das variáveis da dimensão ambiental



Fonte: Elaborado pela autora

Em síntese, é possível observar que a empresa utiliza uma quantidade significativa de materiais não renováveis e reutiliza um volume reduzido de materiais. Assim, para a empresa tornar-se mais sustentável, deveria conseguir maximizar o aproveitamento de recursos e aumentar o percentual de reaproveitamento e reciclagem de resíduos. Também poderia contribuir para o alcance das condições de sustentabilidade, a adoção de um sistema de gestão ambiental.

### 5.5.2 Dimensão Econômica

A dimensão econômica é formada por dois indicadores que buscam mensurar a capacidade da empresa de conseguir gerir e diversificar a sua atividade, assim como sua

capacidade de adaptar-se às mudanças que venham a ocorrer no mercado. Os resultados dos indicadores da dimensão econômica estão apresentados no Quadro 06.

A empresa colaboradora deste estudo, em 2014, apresentou uma economia de aproximadamente R\$ 25.300,00, a qual esteve associada ao reaproveitamento de gemas e ao reciclagem de óleo diesel marítimo, conforme já apresentado na seção anterior. Em termos do custo total da empresa, isso representou uma economia de 2%, sendo que o desempenho dessa variável seria melhor, quanto maior fosse o reaproveitamento e reciclagem de materiais no processo produtivo.

Quadro 06 – Resultados dos indicadores da dimensão econômica em 2014

| Indicadores                             | Variáveis  | Resultado Empresa |
|---|--|-------------------|
| 5. Gestão e diversificação da atividade | 5.1 Economia decorrente da recuperação ou reciclagem de materiais <sup>1</sup> (%) | 2                 |
|   | 5.2 Custos disposição resíduos (R\$)   | -                 |
|   | 5.3 Realização de investimentos  | Sim               |
|   | 5.4 Canais de comercialização (unidades)   | 5                 |
| 6. Adaptabilidade a mudanças            | 6.1 Desenvolvimento de novos produtos  | Sim               |
|   | 6.2 Receita de novos produtos  | -                 |

Fonte: Elaborado pela autora a partir de informações da empresa Pedras Oriente

<sup>1</sup> Calculado a partir da reciclagem de óleo (4.500 l \* R\$ 2,75 = R\$ 12.375,00) + reaproveitamento de gemas (2,35t \* R\$ 5,50 = R\$ 12.925,00).

No que se refere à variável custo com a disposição de resíduos, conforme também já comentado na seção anterior, a empresa não registrou nenhum custo, pois foi acumulando o material em tonéis no pátio da empresa, enquanto busca encontrar uma alternativa mais viável. Caso ela tivesse encaminhado o lodo não tratado para um aterro industrial, teria tido um custo de disposição de R\$ 240,00 por tonelada<sup>33</sup>, ou seja, seu custo com a disposição teria sido de aproximadamente R\$ 4.896,00, somado ainda ao valor relativo ao transporte (custo do frete).

A terceira variável informa sobre a realização de investimentos no processo produtivo. A empresa Pedras Oriente realizou, em 2014, um investimento na ordem de R\$ 25.000,00 para aquisição de impressoras 3D para a confecção de moldes e modelos de peças, e ainda uma máquina rebaxadeira para retificar as peças de bombas. Dessa forma, o investimento contribui tanto para a melhoria da eficiência do processo produtivo, como também para a oferta de novos produtos no mercado.

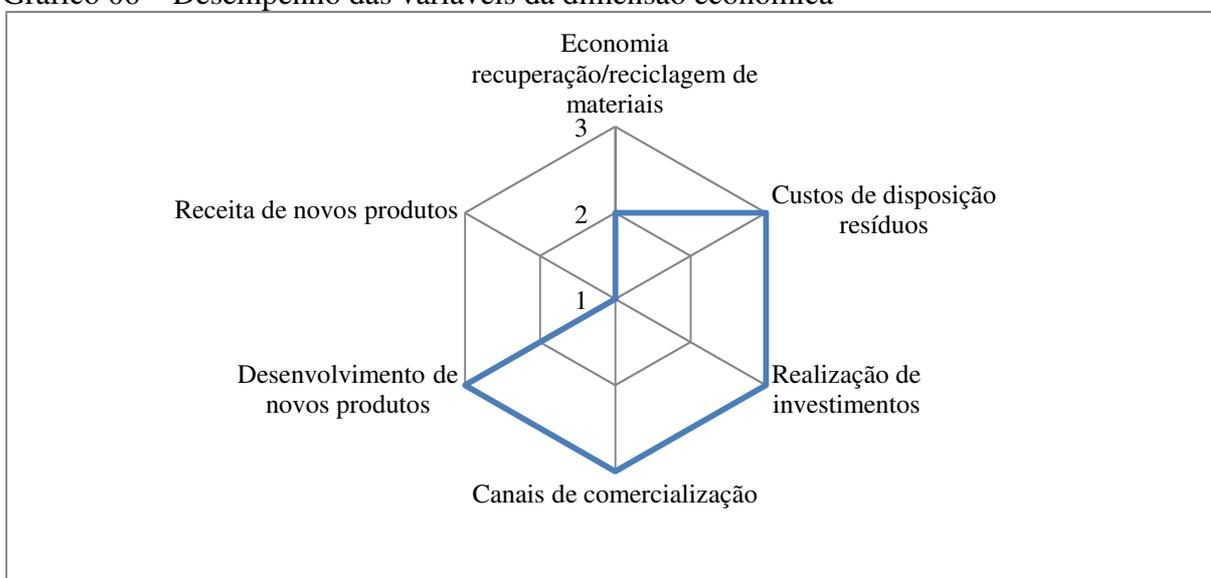
<sup>33</sup> Este é o custo para a disposição do resíduo na Fundação PROAMB. Caso o resíduo fosse encaminhado para o co-processamento, o custo seria de R\$ 750,00 por tonelada.

No que se refere aos canais de comercialização, a empresa colaboradora oferta suas mercadorias para o mercado através de cinco canais de comercialização, a saber: a venda por atacado; a venda a varejo, diretamente na sede da empresa; pelo site, de forma virtual; por distribuidor; e, ainda, diretamente em feiras do segmento.

Além disso, o indicador adaptabilidade a mudanças, associado ao atributo resiliência, procura medir a capacidade de adaptação do portfólio de produtos às eventuais mudanças nas exigências do mercado. Neste sentido, no último ano, a empresa colaboradora desenvolveu, como um novo produto, um colar aromático, utilizando como base o resíduo seco decorrente do processo de lodo. No entanto, como a sua comercialização ainda é reduzida, a receita decorrente dessa venda ainda é insignificante se comparada ao total faturado pela empresa no ano.

Esses resultados apresentados pela empresa demonstram que o desempenho das variáveis que compõem os indicadores da dimensão econômica foi bom, com exceção das variáveis economia decorrente da recuperação ou reciclagem de materiais e da receita proveniente de novos produtos (GRÁFICO 06).

Gráfico 06 – Desempenho das variáveis da dimensão econômica



Fonte: Elaborado pela autora

Assim, no que se refere ao desempenho dos indicadores da dimensão econômica, pode-se salientar que a empresa obterá um melhor desempenho se for capaz de reutilizar um volume maior de resíduos e se conseguir incrementar o seu faturamento com a comercialização de novos produtos. Em outras palavras, considerando as relações entre as

dimensões da sustentabilidade, fica evidente que, ao melhorar o desempenho da dimensão ambiental, também se contribui para o melhor desempenho da dimensão econômica.

### 5.5.3 Dimensão Social

A sustentabilidade de uma empresa também está diretamente relacionada com a qualidade de vida dos trabalhadores e o seu impacto sobre a comunidade em que está inserida. Pelo fato da empresa colaboradora caracterizar-se como de pequeno porte, seu envolvimento com a comunidade se dá por meio da geração de emprego e renda, ao mesmo tempo em que não polui o meio ambiente, respeitando a legislação aplicada ao setor. Dessa forma, os indicadores da dimensão social buscam avaliar as condições de trabalho e a satisfação dos trabalhadores, mas não medem outras relações com a sociedade.

O indicador condições de trabalho, associado ao atributo produtividade, tem por objetivo mensurar se a empresa realiza capacitação de treinamentos de seus funcionários e se há a incidência de acidentes de trabalho. A análise dessas variáveis indicou que, em 2014, ocorreram treinamentos na função quando da entrada de novos funcionários, treinamentos periódicos de normas de segurança e todos os funcionários foram envolvidos no programa 5S<sup>34</sup>. Além disso, não foi registrado nenhum acidente de trabalho (QUADRO 07).

Quadro 07 – Resultados dos indicadores da dimensão social em 2014

| <b>Indicadores</b>           | <b>Variáveis</b>                              | <b>Resultado Empresa</b> |
|------------------------------|---|--------------------------|
| 7. Condições de trabalho     | 20. Capacitação e treinamento de funcionários | Sim                      |
|                              | 21. Incidência de acidentes de trabalho       | Não                      |
| 8. Satisfação do trabalhador | 22. Rotatividade                              | 20%                      |
|                              | 23. Benefícios oferecidos pela empresa        | Não                      |

Fonte: Elaborado pela autora a partir de informações da empresa Pedras Oriente.

E, o indicador satisfação do trabalhador, associado ao atributo resiliência, também é expresso por duas variáveis. A variável taxa de rotatividade foi igual a 20%, o que prejudica parcialmente o desenvolvimento das atividades, pois indica que houve desligamentos e admissões de novos funcionários. Contudo, em alguns setores, essa rotatividade tem sido

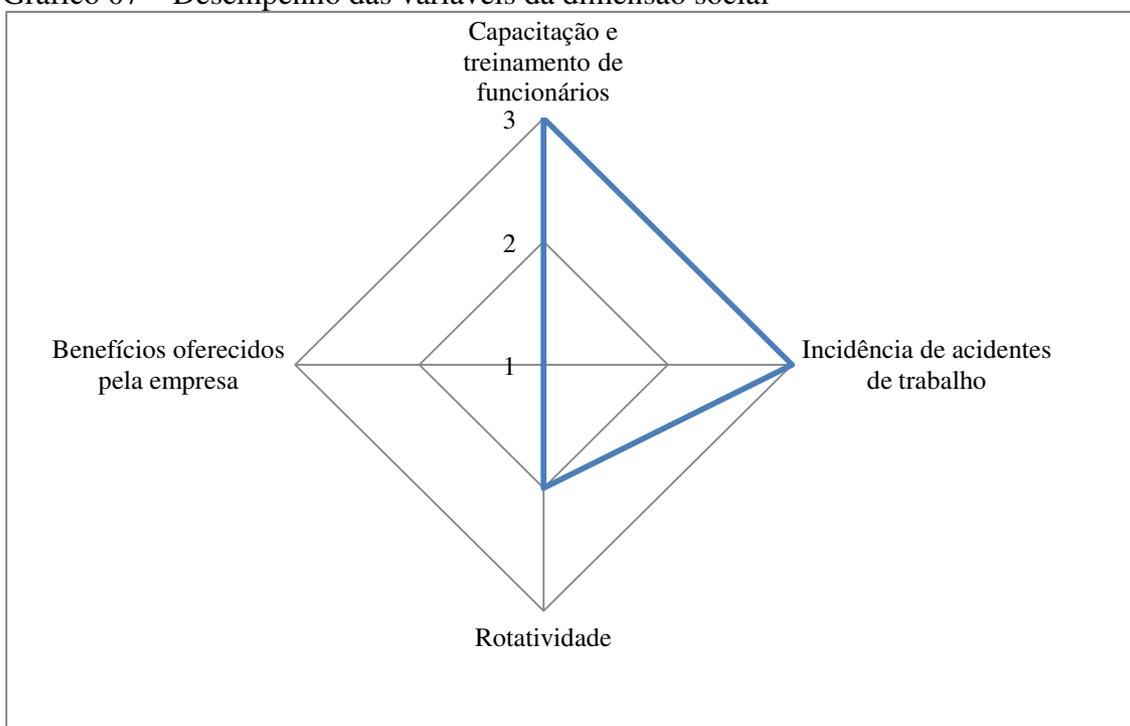
<sup>34</sup> Esse é um programa que visa mobilizar, motivar e conscientizar todos os funcionários da empresa para a busca pela qualidade total. Esse programa teve origem no Japão e seu nome está associado à primeira letra de cinco palavras que resumem o objetivo do programa: *seiri* (utilização); *seiton* (arrumação); *seiso* (limpeza); *shitsuke* (disciplina) e *seiketsu* (higiene), conforme informado pelos gestores da empresa colaboradora.

ainda maior (por exemplo, na indústria de transformação verificou-se uma taxa de 52,4% em 2013), de modo que o mercado de trabalho formal no Brasil tem apresentado uma elevada movimentação contratual, devido à predominância de empregos de curta duração (BRASIL, 2014b).

Ademais, também pode estar associado ao fato da empresa não conceder benefícios ao trabalhador (segunda variável que compõe o indicador), cumprindo apenas com a legislação trabalhista, ao contrário de outras empresas localizadas na região que oferecem vale alimentação, vale transporte, auxílio creche, plano de saúde, entre outros. Apesar dos gestores da empresa admitirem que os benefícios são importantes para os funcionários, sua oferta implica em custos adicionais para a empresa, reduzindo o seu resultado financeiro.

O desempenho de cada variável que compõe a dimensão social após a normalização dos resultados é demonstrado no Gráfico 07. As variáveis capacitação e treinamento de funcionários e incidência de acidentes de trabalho apresentaram um bom rendimento, enquanto que o desempenho da variável benefícios oferecidos pela empresa foi o mais baixo possível.

Gráfico 07 – Desempenho das variáveis da dimensão social



Fonte: Elaborado pela autora

Em outras palavras, esses resultados demonstram que as variáveis que compõem o

indicador condição de trabalho apresentaram um bom desempenho, embora a empresa precisa melhorar o rendimento das variáveis que compõem o indicador satisfação do trabalhador. Para isso, deve buscar reduzir a rotatividade dos funcionários e oferecer benefícios aos funcionários, buscando contribuir para a sua melhor qualidade de vida.

#### 5.5.4 Dimensão Tecnológica

A incorporação de tecnologias no setor, embora considerada como uma das principais dificuldades, é importante para que as empresas consigam melhorar os processos produtivos e apresentar melhores condições para o alcance da sustentabilidade.

Em 2014, os investimentos realizados pela empresa estiveram diretamente associados à incorporação de inovações tecnológicas no processo produtivo. Além disso, a empresa ainda adotou práticas de P + L, como por exemplo, o reciclagem de resíduos e a realização de treinamentos de 5S (QUADRO 08). Em consequência, esses investimentos contribuíram para o desempenho das outras dimensões, ou seja, além dessa dimensão, eles também influenciaram nos resultados da dimensão ambiental, econômica e social.

Quadro 08 – Resultados dos indicadores da dimensão tecnológica em 2014

| Indicadores                   | Variáveis  | Resultado Empresa |
|-------------------------------|--|-------------------|
| 9. Investimentos Tecnológicos | 24. Introdução de inovações tecnológicas                                 | Sim               |
|                               | 25. Adoção de práticas de P + L  | Sim               |
| 10. Capacidade de inovação    | 26. Investimentos/participação de projetos de pesquisa e desenvolvimento | Sim               |

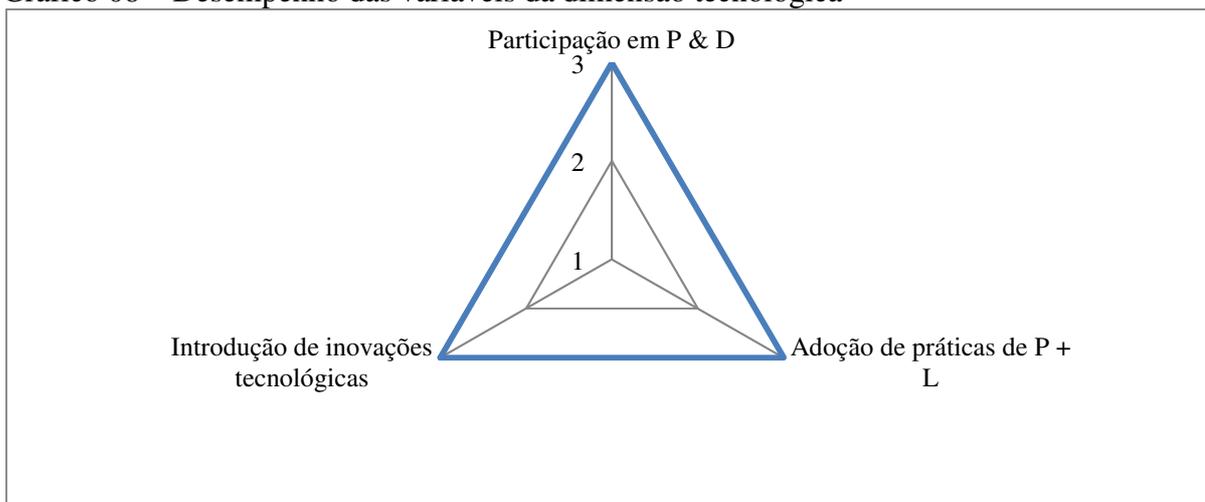
Fonte: Elaborado pela autora a partir de informações da empresa Pedras Oriente.

Já o indicador capacidade de inovação, expresso por meio da variável que busca identificar se a empresa participa de projetos de pesquisa e desenvolvimento, indicou que a empresa tem se envolvido em diversos projetos que buscam o alcance de melhorias no processo produtivo, entre os quais estão: a participação no Programa “Pesquisador na Empresa” da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS); a participação no APL de Gemas e Joias, coordenado pela Agência Gaúcha de Desenvolvimento e Promoção de Desenvolvimento (AGDI); o projeto setorial de Gemas e Joias, coordenado pelo SEBRAE; a participação no Sindipedras e no Projeto Extensão Industrial Exportadora

(PEIEX).

O Gráfico 08 apresenta o resultado da avaliação das variáveis que compõem a dimensão tecnológica. Como a empresa vem adotando uma série de medidas para melhorar seu processo produtivo e vem incorporando inovações, o desempenho dessa dimensão foi bom.

Gráfico 08 – Desempenho das variáveis da dimensão tecnológica



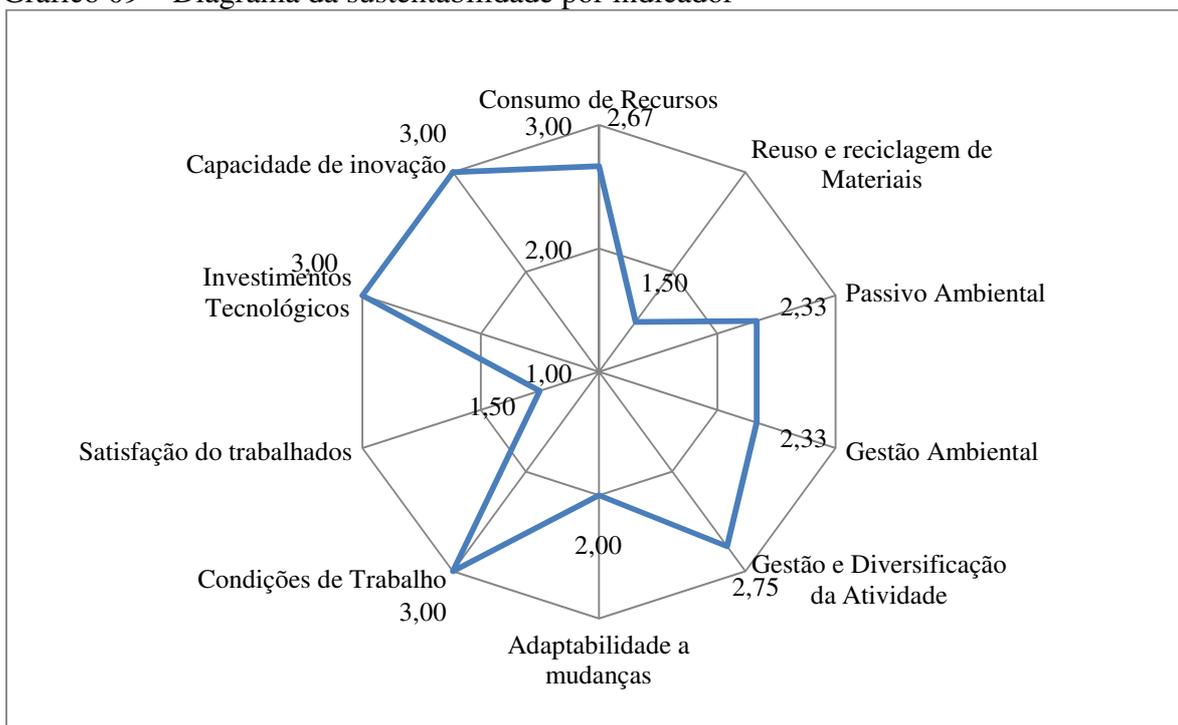
Fonte: Elaborado pela autora

Em resumo, o desempenho da empresa diante da dimensão tecnológica esteve adequado para alcançar as condições de sustentabilidade, pois conforme sugerido pela literatura, a empresa tem buscado introduzir inovações tecnológicas e práticas de P + L, além de participar de projetos de pesquisas e desenvolvimento, que visem o melhor aproveitamento dos recursos e a redução da geração de resíduos decorrentes da atividade produtiva.

### 5.5.5 Índice de Sustentabilidade

Os resultados encontrados para cada uma das variáveis ainda foram agregados por indicador, conforme pode ser visualizado no Gráfico 09 e, em seguida, esses indicadores foram agregados por atributo para que fosse possível a obtenção de um índice por dimensão e um índice geral da sustentabilidade.

Gráfico 09 – Diagrama da sustentabilidade por indicador



Fonte: Elaborado pela autora

O índice de sustentabilidade ambiental para a empresa colaboradora foi de 2,25. O indicador que mais contribuiu para esse resultado foi o consumo de materiais (2,67), pois, em comparação a outras indústrias, a empresa utiliza um volume reduzido de água por volume beneficiado e em termos de energia somente consome uma energia elétrica proveniente de fontes renováveis.

O desempenho do indicador passivo ambiental (2,33) também foi satisfatório, pois a empresa, no último ano, não destinou nenhum resíduo para aterros industriais, embora o passivo esteja sendo acumulado no pátio da empresa enquanto a mesma busca outras alternativas.

O indicador gestão ambiental da atividade também obteve o mesmo desempenho (2,33), uma vez que a empresa tem adotado práticas favoráveis à sustentabilidade e não recebeu nenhuma notificação de irregularidade. Contudo, acredita-se que a empresa poderia melhorar o desempenho desse indicador se adotasse um sistema de gestão ambiental.

Por outro lado, o indicador que menos contribuiu com esse indicador foi o de reaproveitamento e reciclagem de materiais (1,50). Embora a empresa reutilize parcialmente o óleo contido no lodo, esse desempenho poderia ser melhorado com a incorporação da

tecnologia desenvolvida neste trabalho, uma vez que ela permitiu a obtenção de um percentual de recuperação maior. Assim como, a recuperação de gemas ainda é reduzido, devendo esse ser um dos pontos de melhoria da empresa.

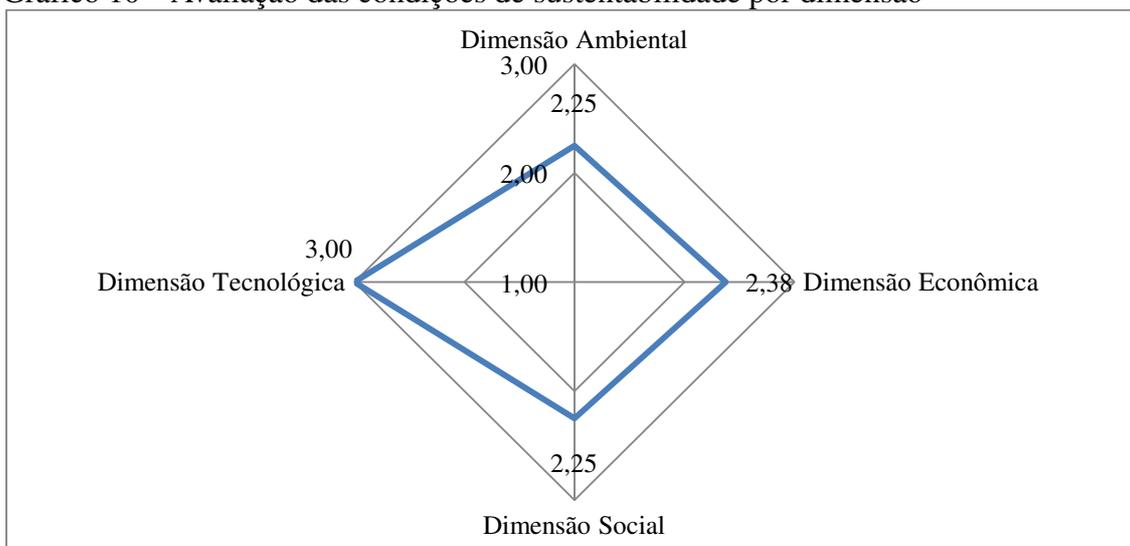
O índice de sustentabilidade econômico obteve um resultado igual a 2,38. Nesta dimensão, o indicador gestão e diversificação da atividade (2,38) apresentou um bom desempenho, visto que a empresa não teve gastos com a disposição de resíduos, realizou investimentos no setor produtivo e utiliza diversos canais de comercialização para colocação de seus produtos. O indicador adaptabilidade a mudanças, porém, precisa ser melhorado (2,00), pois, apesar da empresa desenvolver novos produtos para atender a demanda dos clientes e buscar reutilizar materiais, a receita proveniente desse desenvolvimento ainda é insignificante.

O índice de sustentabilidade da dimensão social foi de 2,25. Enquanto o indicador condições de trabalho obteve a melhor nota, uma vez que a empresa capacita os funcionários e não foram registrados acidentes de trabalho, o indicador satisfação dos funcionários teve um desempenho inferior, pois, além do índice de rotatividade não ter sido baixo, ela também não oferece nenhum benefício para os seus funcionários.

Já o índice de sustentabilidade da dimensão tecnológica foi 3,00, ou seja, apresentou a melhor pontuação de todos os indicadores. Esse resultado é decorrente dos investimentos em inovação que a empresa tem realizado, assim como, da adoção de práticas de P + L visando aumentar a eficiência produtiva e também do seu envolvimento com projetos de pesquisa e desenvolvimento e entidades setoriais.

E, por fim, ainda foi mensurado o índice de sustentabilidade da empresa que foi de 2,47, demonstrando que a empresa tem conseguido alcançar um desempenho satisfatório na busca pelas condições de sustentabilidade. Conforme pode ser observado no Gráfico 10, para melhorar esse desempenho a empresa precisa melhorar, em especial, aspectos da dimensão ambiental e social.

Gráfico 10 – Avaliação das condições de sustentabilidade por dimensão



Fonte: Elaborado pela autora

Contudo, vale ressaltar que este foi um exercício inicial para a avaliação das condições de sustentabilidade em empresas beneficiadoras de gemas, sendo os indicadores validados a partir de um estudo de caso, não podendo ser realizadas generalizações a partir dos resultados encontrados. Por isso, recomenda-se para trabalhos futuros que a metodologia seja aplicada junto a outras empresas do setor e, caso necessário, seja aperfeiçoada. Esse levantamento de dados, porém, pode contribuir para a definição de parâmetros mais específicos do setor, e para a comparação do desempenho entre as empresas.

Além disso, recomenda-se à empresa, que a sua avaliação seja realizada periodicamente, para que seja possível monitorar e avaliar a sua evolução em busca da situação ideal.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O debate em torno da sustentabilidade intensificou-se a partir das últimas décadas do século XX em virtude do agravamento das questões ambientais. O modelo de produção capitalista adotado desde a Revolução Científica (século XVI) e Revolução Industrial (século XVIII) tem utilizado de maneira intensiva os recursos do planeta para a obtenção de um progresso ilimitado, degradando a natureza e contribuindo para o esgotamento de recursos naturais não renováveis.

Na literatura, é possível encontrar diferentes concepções da palavra sustentabilidade. Segundo Boff (2012), sua origem expressa a preocupação com o uso racional de recursos e dataria mais de 400 anos. Para outros autores, entretanto, sua origem é mais recente e estaria vinculada a duas áreas: a biologia, indicando a capacidade de resiliência de um ecossistema; e a economia, sendo neste caso utilizada como adjetivo do desenvolvimento e do reconhecimento dos limites do crescimento, uma vez que os recursos naturais são finitos (DALY; COSTANZA, 1992; VEIGA, 2011; NASCIMENTO, 2012).

Essa preocupação com os limites do crescimento e o bem-estar das sociedades tem levado os agentes econômicos a repensarem os seus processos de produção e padrões de consumo, de modo a reencontrar um equilíbrio entre as ações humanas e a preservação do meio ambiente (LEFF, 2011). Esse objetivo tem levado as sociedades a almejar um novo modelo de desenvolvimento, o desenvolvimento sustentável, considerado como um sinônimo de sustentabilidade (BELL; MORSE, 2003).

Embora na literatura seja possível encontrar diversas definições de desenvolvimento sustentável, o conceito mais amplamente aceito estabelece que este deva garantir o atendimento das necessidades de todos (presentes e futuras gerações), oportunizando uma

vida melhor, conforme proposto pela CMMAD (1991). Para isso, seria necessária uma mudança no processo de exploração dos recursos, investimentos e do desenvolvimento tecnológico, embora a CMMAD (1991) reconheça que não existe um único modelo de desenvolvimento.

Não obstante, Cavalcanti (2012) afirma que só pode haver desenvolvimento que seja sustentável, não sendo sinônimo de crescimento econômico, o qual representa um maior consumo de recursos. Para outros autores, o desenvolvimento sustentável está diretamente associado à dimensão social, pois afirmam que é consequência de uma escolha ou construção social (HARDI; ZDAN, 1997; MEADOWS, 1998) ou de um desafio ético (DAHL, 2012).

Alguns autores, entretanto, consideram que a disseminação da sustentabilidade transformou-se em um mantra (CAVALCANTI, 2012), em um modismo (BOFF, 2012), banalizando o uso do conceito (VEIGA, 2011). Ademais, o conceito proposto pela CMMAD (1991) também é alvo de críticas, pois não informa, com clareza, quais são os limites ambientais e as necessidades futuras, igualmente ao que ocorre com termos como justiça social e ética.

Ainda que existam conflitos quanto ao conceito da sustentabilidade, é consenso na literatura que, para alcançar esse objetivo, as sociedades precisam adotar padrões de produção e consumo compatíveis com os limites da natureza. Para isso, é fundamental que se consiga reduzir os impactos decorrentes da produção.

Nesse sentido, a busca pela sustentabilidade tem se transformado em um novo desafio para as empresas, pois, ao mesmo tempo em que são responsáveis pelo fornecimento de bens e serviços que satisfazem as necessidades das sociedades, melhorando sua qualidade de vida, também são responsáveis pelo consumo de recursos naturais escassos e pela degradação ambiental (CMMAD, 1991; KRAJNC; GLAVIC, 2003; FENG; JOUNG, 2009; DIAS, 2011).

Uma empresa será sustentável quando: a) seus processos produtivos forem não poluentes, garantindo a conservação de energia e de recursos naturais, gerarem retornos financeiros e forem seguros e saudáveis para os funcionários, comunidades e consumidores (VELEVA; ELLENBECKER, 2001); b) utilizar tecnologias limpas que tornem os processos mais eficientes (BRASIL, 1992); c) for capaz de trazer benefícios de forma natural para todas as partes interessadas (SAVITZ; WEBER, 2007), entre outros.

Diante desse quadro, para garantir a sua atuação no mercado em um contexto mais sustentável, ou seja, atender não somente aos seus interesses, mas também a interesses sociais e ambientais das sociedades em que estão inseridas, as empresas podem adotar diferentes estratégias que melhorem sua eficiência e minimizem seus efeitos sobre o meio ambiente. Entre essas estratégias, estão a P + L e a ACV, que contribuem para: a otimização da utilização de recursos, a redução da geração de resíduos e emissões, a minimização dos perigos e riscos acidentais, a avaliação dos impactos causados pela produção e a identificação de oportunidades de melhoria (UNEP, 2010; CNTL, 2003a; SCHRAMM, 1998; GRAVILESCU, 2004; CALLISTER; RETHWISCH, 2013).

As empresas também podem utilizar indicadores de sustentabilidade que contribuam para o monitoramento e a avaliação pela busca de condições necessárias para o alcance da sustentabilidade. Os indicadores possuem várias funções e definições, tais como: a) contribuem para a tomada de decisão (UNITED NATION, 2007); b) quantificam e simplificam as informações para facilitar a compreensão e comunicação (HAMMOND et al., 1995); c) auxiliam na seleção da melhor alternativa e contribuem para a identificação das causas de insustentabilidade (CALLENS; TYTECA, 1999); d) retratam a realidade de forma científica (BELLEN, 2004); e) permitem a elaboração de estratégias de desenvolvimento mais sustentável (AZAPAGIC; PERDAN, 2000); f) informam sobre o estado e/ou tendência de um atributo (GALLOPIN, 1996); entre outras já citadas no texto.

Não obstante, o uso de indicadores, porém, não é condição suficiente para a obtenção da sustentabilidade. Uma proposta dificilmente conseguirá incluir todas as variáveis necessárias para o alcance desse objetivo, visto que são imagens parciais da realidade (MEADOWS, 1998) e nunca contam toda a história (BOSSEL, 1999).

Na economia regional, o setor de beneficiamento de gemas é importante devido a sua capacidade de geração de renda e empregos. Contudo, suas atividades têm sido desenvolvidas em meio a uma série de dificuldades, entre as quais se destaca a necessidade de realizar aprimoramentos nos processos produtivos com o intuito de introduzir tecnologias limpas, buscando melhorias no fluxo de materiais, na redução das perdas e na gestão da atividade. Esse setor também tem causado impactos ambientais, dado o significativo volume de resíduos gerados.

Com base nesse contexto, a realização desta pesquisa foi motivada pelo desejo de

contribuir com essas empresas, as quais necessitam desenvolver suas atividades em um contexto ambientalmente mais correto e sustentável. Apesar de reconhecer que, quanto maior for o desenvolvimento desse setor, maior será o consumo de recursos naturais não renováveis e que a geração de resíduo zero nesse setor é impossível, acredita-se que as empresas possam introduzir estratégias que minimizem a geração de danos ambientais. Assim, esta tese teve por objetivo propor a incorporação de tecnologias visando o de materiais em empresas que beneficiam gemas e avaliar suas condições de sustentabilidade a partir da proposição de indicadores de sustentabilidade.

Para alcançar esse objetivo haviam sido estabelecidos quatro objetivos específicos, que foram alcançados. Inicialmente realizou-se a análise do processo de beneficiamento de gemas. Esse processo é formado por diversas etapas (manuais, semiautomáticas ou automáticas), as quais podem variar de acordo com o produto desejado e a gema beneficiada. Como insumos, são utilizados diversos tipos de recursos e são gerados diferentes tipos de resíduos, em especial o lodo, classificado como um resíduo perigoso, Classe I. Não obstante, como as gemas são sensíveis e apresentam diferentes características quanto à dureza e composição, elas podem quebrar facilmente ou apresentar defeitos que somente se tornam perceptíveis ao final do processo, que leva, em média, de 30 a 45 dias. Em consequência, as empresas têm necessidade de produzir um volume maior do que o solicitado.

O segundo objetivo específico estava associado à realização do inventário de entradas e saídas do processo. Esse inventário, realizado junto à empresa colaboradora deste estudo, demonstrou que, para a obtenção de uma pequena quantidade de gemas beneficiadas, é consumida uma quantidade significativa de recursos naturais não renováveis (gemas e combustível), e que apenas 7,5% do volume de gemas transformam-se em produto final. Em consequência, identificou-se que os principais pontos críticos do processo de beneficiamento estão relacionados à: a) geração do lodo, formado nas etapas de corte, devido ao volume gerado e à sua periculosidade para o meio ambiente; b) quantidade de resíduos de gemas (cacos e cascas) que se formam ao longo do processo e têm sido pouco reaproveitados; c) produção de gemas beneficiadas com defeito, em função das características das gemas; e, d) dificuldade de manutenção de estoques devido à variedade de modelos e tipos de gemas destinadas para a produção de joias a serem comercializadas no mercado interno.

A proposição de tecnologia limpa que auxiliasse na adequação da atividade e que possibilitasse a redução das perdas nos processos foi o terceiro objetivo estabelecido. A

tecnologia desenvolvida buscou auxiliar no processo de tratamento do lodo. Desse modo, para tornar a atividade mais eficiente e sustentável, propôs-se como tecnologia para o tratamento do lodo a filtração a vácuo, em escala de bancada, e a filtração por trompa d'água, em escala piloto, podendo esta ser aplicada nas empresas. Essa tecnologia possibilita a separação do óleo diesel marítimo do resíduo sólido (pó e pequenos cacos de gemas) contido no lodo.

Os resultados encontrados com a escala piloto demonstraram que foi possível recuperar 63,5% do total de óleo contido na amostra. Isso demonstra que a tecnologia recomendada é eficiente para a reciclagem do óleo diesel marítimo, ao mesmo tempo em que reduz a geração de resíduo que necessita ser encaminhado para unidades licenciadas responsáveis pela correta destinação dos resíduos, conforme estabelecido na legislação (FEPAM, 2010a). Dessa forma, diminui também o passivo ambiental das empresas, não havendo a geração de novos resíduos com o tratamento. Além disso, ela contribui ainda para a obtenção de benefícios financeiros, em decorrência da redução da necessidade de compra de maiores volumes de óleo, assim como, do menor custo pela disposição de resíduos.

E por fim, o último objetivo esteve associado à proposição de um quadro de indicadores de sustentabilidade direcionados às empresas beneficiadoras de gemas. Como a literatura não fornece um quadro universal de indicadores que possa ser utilizado indiscriminadamente por todos (SEGNESTAM, 2002), nem indica condições suficientes para o desenvolvimento sustentável, por não existirem valores de referência (CALLENS; TYTECA, 1999), é importante que cada setor desenvolva um conjunto próprio para auxiliar no diagnóstico da situação em que se encontra e no monitoramento de sua evolução em busca da situação desejada sustentável, auxiliando no processo de tomada de decisão.

A proposta de indicadores foi elaborada considerando os pressupostos teóricos e metodológicos sugeridos pela literatura. Para a definição dos indicadores, foram considerados os princípios, requisitos e características sugeridos por diversos autores (HARDI; ZDAN, 1997; MEADOWS, 1998; BOSSEL, 1999; SEGNESTAM, 2002; BELL; MORSE, 2003, entre outros). Eles se baseiam ainda na abordagem do ciclo de vida dos materiais, pois consideram as entradas e saídas dos recursos, assim como, princípios de produção mais limpa, mas não buscam mensurar itens obrigatórios para as empresas no que se refere ao atendimento da legislação.

Também foram levadas em consideração as características e a realidade das empresas

que beneficiam gemas. E, embora as empresas tenham uma preocupação com o consumo de recursos e a geração de resíduos decorrentes do processo produtivo e busquem contribuir com o desenvolvimento da comunidade em que estão inseridas, seu objetivo principal é o resultado econômico. E, diferentemente do que estabeleceu Sachs (2009), quando definiu a ordem de importância das dimensões da sustentabilidade para a sociedade, a pesquisadora arrisca-se em dizer que, no caso das empresas, a sustentabilidade econômica vem em primeiro lugar, pois sem ela a empresa deixa de existir. Em seguida viria a busca pela sustentabilidade ambiental, pelo fato da empresa ser responsável pelos resíduos gerados (passivo ambiental) e por esses gerarem custos; na sequência, a sustentabilidade tecnológica, que contribui para o desempenho econômico e ambiental e, por fim, a sustentabilidade social, a qual também é necessária, pois garante o desenvolvimento das atividades da empresa, e será alcançada pelo melhor desempenho dos anteriores.

Enfim, definiu-se que a sustentabilidade das empresas de beneficiamento seria alcançada, caso fossem atendidas quatro dimensões - ambiental, econômica, social e tecnológica -, e dois atributos - produtividade e resiliência -, sendo a proposta de indicadores composta por 10 indicadores (quantitativos e qualitativos), subdivididos ainda em 24 variáveis.

Essa proposta de indicadores pode ser utilizada tanto por empresas, para que façam o acompanhamento e avaliação do desempenho de suas atividades, como para fins de comparação entre empresas do setor, uma vez que foram orientados para as empresas (AZAPAGIC; PERDAN, 2000) e elaborados considerando a abordagem *botton up* (CALLEN; TYTECA, 1999), a partir dos próprios sistemas de produção. Esta é uma proposta inicial, podendo ser ajustada de acordo com o surgimento de novas necessidades e demandas do setor, por isso a lista de indicadores não pode ser considerada exaustiva e rígida (fixa).

Além disso, para o cálculo do índice de sustentabilidade, optou-se por normalizá-los através da atribuição de notas de 1 a 3 para cada variável (sendo 1 a pior situação e 3 a melhor), uma vez que não existem valores de referência, nem consenso na literatura sobre qual a melhor opção metodológica é preferível para normalização de valores. Por isso, essa opção pode vir a sofrer modificações em futuras medições, quando mais informações sobre as atividades estiverem disponíveis.

Para validar a proposta de indicadores desenvolvida, ela foi aplicada na empresa colaboradora deste estudo com o objetivo de avaliar as condições de sustentabilidade da empresa. Entre as principais questões averiguadas, pode-se citar:

a) em termos ambientais, observou-se que a empresa utiliza no processo produtivo uma quantidade significativa de materiais não renováveis, ao mesmo tempo em que reutiliza um volume reduzido de resíduos, por isso, a empresa necessita encontrar alternativas para maximizar o aproveitamento de recursos e aumentar a recuperação e reciclagem de resíduos e precisa adotar um sistema de gestão ambiental que pode contribuir para a administração da atividade;

b) os indicadores da dimensão econômica apresentaram, em sua maioria, um bom desempenho, apesar de não ter sido registrado nenhum valor com a disposição de resíduos em 2014, os quais estão sendo acumulados no pátio, enquanto a empresa aguarda uma alternativa de tratamento visando a sua reciclagem, assim como, o faturamento decorrente de novos produtos ainda ser insignificante. Assim, este indicador poderá ser superior, se a empresa conseguir melhorar o desempenho das três variáveis;

c) na dimensão social, o indicador condição de trabalho apresentou um bom resultado, no entanto, para melhorar as condições de sustentabilidade, a empresa precisa melhorar o rendimento das variáveis que compõem o indicador satisfação do trabalhador;

d) no que se refere à dimensão tecnológica, o desempenho da empresa esteve adequado, uma vez que realizou inovações tecnológicas no processo produtivo, adotou práticas de P + L e ainda tem participado de projetos de pesquisa e desenvolvimento;

e) o índice de sustentabilidade da empresa foi de 2,47. Esse índice foi obtido com a normalização dos resultados através da atribuição de pesos de 1 a 3, conforme apresentado nos procedimentos metodológicos. Esse resultado demonstra que, embora a empresa necessite aprimorar ainda mais os seus processos produtivos, o seu desempenho foi satisfatório na busca pelas condições de sustentabilidade;

f) essa avaliação levou em consideração apenas um período, por isso não pode ser realizada uma análise de tendência ou generalizações para outras empresas do setor.

Assim, os resultados alcançados com o desenvolvimento desta tese contribuem com o desenvolvimento da atividade em um contexto ambientalmente mais correto e para a redução

das dificuldades enfrentadas pelas empresas que pertencem ao setor.

## 7 CONCLUSÕES

Em síntese, considerando os debates teóricos em torno da sustentabilidade e o contexto do setor de beneficiamento de gemas, os resultados alcançados com o desenvolvimento desta tese contribuíram em termos metodológicos, principalmente com:

a) a proposição de tecnologia para o tratamento do lodo, contribuindo para a reciclagem de um maior volume de óleo se comparado ao tratamento que vem sendo adotado nas empresas beneficiadoras de gemas, assim como, possibilitando a reciclagem do resíduo sólido em outras empresas, como é o caso da indústria cerâmica. Em consequência, a atividade pode ser desenvolvida em um contexto ambientalmente mais correto, com a redução dos custos de produção e gerando tanto benefícios ambientais como econômicos; e,

b) a proposição de um conjunto de indicadores de sustentabilidade para que as empresas do setor possam realizar a sua avaliação e o monitoramento de suas atividades em busca de uma condição mais sustentável, auxiliando no processo de tomada de decisão e na gestão da atividade.

Contudo, como a tecnologia foi testada em escala piloto e a proposta de indicadores foi aplicada somente em uma empresa, o trabalho apresenta limitações que estimulam a realização de trabalhos futuros.

Sugere-se, então, que a proposta de indicadores seja aplicada em outras empresas do setor, permitindo a comparação entre as mesmas e uma avaliação geral do setor. O acompanhamento desses indicadores também contribuirá para verificar se as empresas estão conseguindo desenvolver suas atividades em condições mais sustentáveis e se a ferramenta proposta favorece a melhora do processo produtivo ou não. Ademais, a obtenção desses

resultados possibilitará estabelecer parâmetros de referência para as variáveis mensuradas e, caso seja necessário, realizar modificações na proposta inicial.

No que se refere à tecnologia, sugere-se que seja aplicada e avaliada em escala industrial para verificar sua eficiência diretamente no ambiente fabril, comparando com os tratamentos que já vêm sendo utilizados. Novos trabalhos ainda poderão ser desenvolvidos, buscando introduzir outras tecnologias limpas ao processo produtivo. Por exemplo, procurando minimizar a geração de resíduos formados pelas gemas, e visando a maior reciclagem destes, ou para o tratamento dos efluentes gerados nos processos de tingimento das gemas, o qual não foi analisado neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALIGLERI, Lilian. **A adoção de ferramentas de gestão para a sustentabilidade e a sua relação com os princípios ecológicos nas empresas**. 2011. 178f. Tese (Doutorado em Administração) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12139/tde-21062011-163621/en.php>>. Acesso em: 24 jan. 2015.
- ALIGLERI, Lilian; ALIGLERI, Luiz Antonio; KRUGLIANSKAS, Isak. **Gestão socioambiental: responsabilidade e sustentabilidade do negócio**. São Paulo: Atlas, 2009.
- ALMEIDA, Angela Mendes de. Campo e Cidade como imagens. In: **Didática cpda**. Rio de Janeiro, n. 1, jun. 1999.
- ALMEIDA, Fernando. **O bom negócio da sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002. Disponível em: <<http://www.fernandoalmeida.com.br/Livros/livro-fernando-almeida-sustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2015.
- \_\_\_\_\_. **Os desafios da sustentabilidade: uma ruptura urgente**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- AL-YOUSFI, A. Basel. Cleaner Production for Sustainable Industrial Development: Concept and Applications. **Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management**. v. 8, n. 4, p. 265–273, 2004. Disponível em: <[http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)1090-025X\(2004\)8%3A4\(265\)](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)1090-025X(2004)8%3A4(265))>. Acesso em: 20 dez. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **ABNT NBR ISO 14031: gestão ambiental, avaliação do desempenho ambiental, diretrizes**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR ISO 14040: gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – princípios de estrutura**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- AZAPAGIC, Adisa. Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 6, p. 639-662, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652603000751>>.

Acesso em: 26 jan. 2015.

AZAPAGIC, A.; PERDAN, S. Indicators of sustainable development for industry: a General Framework. Institution of Chemical Engineers. **Trans IChemE**, v. 78, part B, p. 243-261, 2000. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582000708834>>. Acesso em: 29 out. 2013.

BARRETO, Sandra de Brito; BITTAR, Sheila Maria Bretas. The gemstone deposits of Brazil: occurrences, production and economic impact. **Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana**. v. 62, n. 1, p. 123-140, 2010. Disponível em:

<<http://scielo.unam.mx/pdf/bsgm/v62n1/v62n1a8.pdf>>. Acesso em 28 jun. 2013.

BATISTA, V.R., NASCIMENTO, J.J.S., LIMA, A.G.B. de. Secagem e retração volumétrica de tijolos cerâmicos maciços e vazados: uma investigação teórica e experimental. **Revista Matéria**, v. 14, n. 4, p. 1088-1100, 2009. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rmat/v14n4/a02v14n4.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2015.

BATISTI, Vanessa de Souza; TATSCH, Ana Lúcia. O Arranjo Produtivo Local (APL) gaúcho de gemas e joias: estruturas produtiva e comercial, arranjos institucional e educacional e relações interorganizacionais. **Ensaio FEE**, Porto Alegre, v. 33, n. 2, p. 513-538, nov. 2012. Disponível em: <<http://revistas.fee.tche.br/index.php/ensaios/article/view/2473/3109>>. Acesso em: 29 out. 2013.

BEDIN, Marcos Felipe Maule. **Remoção da fração líquida (óleo e água) presente no resíduo da serragem de ágatas por prensagem**. 2014. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/105008>>. Acesso em: 23 abr. 2015.

BELL, Simon; MORSE, Stephen. **Measuring Sustainability: learning by doing**. London: Earthscan Publications Limited, 2003. Disponível em:

<[http://190.11.224.74:8080/jspui/bitstream/123456789/1103/2/ebooksclub.org\\_Measuring\\_Sustainability\\_Learning\\_by\\_Doing.pdf](http://190.11.224.74:8080/jspui/bitstream/123456789/1103/2/ebooksclub.org_Measuring_Sustainability_Learning_by_Doing.pdf)>. Acesso em: 09 fev. 2015.

BELLEN, Hans Michael Van. **Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.

\_\_\_\_\_. Indicadores de sustentabilidade - um levantamento dos principais sistemas de avaliação. **Cadernos EBAPE.BR**. Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 1-14, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cebape/v2n1/v2n1a02.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2013.

BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: o que é – o que não é**. Petrópolis: Vozes, 2012.

BOSSEL, Hartmut. **Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications - A Report to the Balaton Group**. Canada: International Institute for Sustainable Development, 1999. Disponível em: <<https://www.iisd.org/pdf/balatonreport.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Agenda 21**. Conferencia das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1992.

Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21>>. Acesso em: 25 jan. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2010. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/253/publicacao/253\\_publicacao02022012041757.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/253/publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf)>. Acesso em: 04 out. 2013.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM. **Sumário Mineral**. Brasília: DNPM, 2014a. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego - MTE. Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos. **Os números da rotatividade no Brasil: um olhar sobre os dados da Rais 2002 – 2013**, 2014b. Disponível em: <<http://www.dieese.org.br/notaaimpresa/2014/numerosRotatividadeBrasil.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior - MDIC. Secretaria de Comércio Exterior – SECEX. **Base de dados ALICE-Web**, 2015a. Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/>>. Acesso em: 26 mar. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego - MTE. **Relação Anual de Informações Sociais – RAIS**, 2015b. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/rais>>. Acesso em: 26 mar. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério da Fazenda. Secretaria da Receita Federal do Brasil. **Tributos federais administrados pela Secretaria da Receita Federal do Brasil**, 2015c. Disponível em: <<http://idg.receita.fazenda.gov.br/aceso-rapido/tributos>>. Acesso em: 26 mar. 2015.

BRÜSEKE, Franz Josef. O problema do desenvolvimento sustentável. In: CAVALCANTI, Clóvis (Org.). **Desenvolvimento e Natureza: estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez; Recife, PE: Fundação Joaquim Nabuco, 2001.

BRUXEL, Fernando Roberto. **A problemática dos resíduos provenientes do setor de gemas: avaliação da incorporação do lodo de gemas na massa cerâmica**. 2011. 64f. Dissertação (Mestrado em ambiente e Desenvolvimento) – Centro Universitário Univates, Lajeado, jun. 2011. Disponível em: <<http://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/220/1/FernandoBruxel.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2013.

BRUXEL, F.R; OLIVEIRA, E. C.; STULP, S.; MULLER, C. S.; ETCHEPARE, H. D. Estudo da adição de resíduo (lodo) de gemas na massa cerâmica vermelha. **Cerâmica**. São Paulo, v. 58, n. 346, p. 211-215, abr./jun. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v58n346/v58n346a11.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2013.

CALLADO, Aldo L. C.; FENSTERSEIFER, Jaime E.. Indicadores de Sustentabilidade. In: ALBUQUERQUE, José de Lima (Org.). **Gestão Ambiental e Responsabilidade Social: conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Atlas, 2009.

CALLENS, Isabelle; TYTECA, Daniel. Towards indicators of sustainable development for firms: A productive efficiency perspective. **Ecological Economics**, v. 28, n. 1, p. 41-53, 1999. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800998000354>>. Acesso em: 29 out. 2013.

CALLISTER, William D.; RETHWISCH, Jr. David G.. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

CARDOSO, Lúcia Maria França. **Indicadores de Produção Limpa: uma proposta para análise de relatórios ambientais de empresas**. 2004. 155f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Escola Politécnica da UFBA. Salvador, 2004. Disponível em: <[http://teclim.ufba.br/site/material\\_online/dissertacoes/dis\\_ligia\\_m\\_f\\_cardoso.pdf](http://teclim.ufba.br/site/material_online/dissertacoes/dis_ligia_m_f_cardoso.pdf)>. Acesso em: 22 nov. 2012.

CAVALCANTI, Clóvis. Sustentabilidade: mantra ou escolha moral? Uma abordagem ecológico-econômica. **Estudos Avançados**. São Paulo, v. 26, n. 74, p. 35-50, 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142012000100004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142012000100004&script=sci_arttext)>. Acesso em: 09 fev. 2015.

CECCHIN, Iziqiel. **Descontaminação de resíduo contaminado com diesel com aplicação de soil washing modificado**. 2011. 84f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 07 dez. 2011. Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~engeamb/TCCs/2011-2/Iziqiel%20Cecchin.pdf>>. Acesso em: 06 fev. 2013.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS - CNTL. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa**. Porto Alegre: Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/UNIDO/UNEP, 2003a.

\_\_\_\_\_. **Indicadores Ambientais e de Processo**. Porto Alegre: Porto Alegre: Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/UNIDO/UNEP, 2003b.

CHEN, Danfang; HEYER, Steffen; SELIGER, Günther; KJELLBERG, Torsten. Integrating sustainability within the factory planning process. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 61, p. 463-466, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850612000698>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

CHEN, Danfang; THIEDE, Sebastian; SCHUDELEIT, Timo; HERRMANN, Christoph. A holistic and rapid sustainability assessment tool for manufacturing SMEs. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 63, p. 437-440, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850614001164>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise do ciclo de vida dos produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

CHIAVENATO, Idalberto. **Planejamento, recrutamento e seleção de pessoal: como agregar talentos à empresa**. Barueri: Editora Manole Ltda, 2009.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO - CMMAD. **Nosso futuro comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 313**, de 29 de outubro de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=335>>. Acesso em: 24 de jan. 2015.

CREMA, Roberto. **Introdução a visão holística**: breve relato de viagem do velho ao novo paradigma. São Paulo: Summus, 1989.

DAHL, Arthur Lyon. Achievements and gaps in indicators for sustainability. **Ecological Indicators**, v. 17, p. 14-19, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X11001270>>. Acesso em 24 jan. 2015.

DALY, Herman E.. **Sustainable Development**: Definitions, Principles, Policies. World Bank, 2002. Disponível em: <[http://info.worldbank.org/etools/docs/voddocs/269/553/essd\\_hdaly.pdf](http://info.worldbank.org/etools/docs/voddocs/269/553/essd_hdaly.pdf)>. Acesso em: 02 jun. 2015.

DALY, Herman E.; COSTANZA, Robert. Natural Capital and Sustainable Development. **Conservation Biology**, v. 6, n.1, p. 37-46, 1992. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1523-1739.1992.610037.x/abstract>>. Acesso em: 11 mai. 2015.

DIAS, Reinaldo. **Gestão Ambiental**: responsabilidade social e sustentabilidade. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

EIDELWEIN, Mateus. **Proposição de redução de resíduos de óleo diesel em lodo de indústria de gemas e joias**. Monografia (graduação) – Curso de Química Industrial, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2012.

ELKINGTON, John. **Sustentabilidade, canibais com garfo e faca**. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda, 2012.

EBERT, Udo; WELSCH, Heinz. Meaningful environmental indices: a social choice approach. **Journal of Environmental Economics and Management**. v. 47, p. 270-283, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0095069603001177>>. Acesso em: 22 jul. 2015.

FENG, Shaw C.; JOUNG, Che B. An Overview of a Proposed Measurement Infrastructure for Sustainable Manufacturing. **The 7th Global Conference on Sustainable Manufacturing**, 2009. Disponível em: <[http://www.nist.gov/manuscript-publication-search.cfm?pub\\_id=904166](http://www.nist.gov/manuscript-publication-search.cfm?pub_id=904166)>. Acesso em: 04 abr. 2015.

FOLLE, Daiane, et. al. Cenário do licenciamento ambiental das indústrias extratoras de pedras preciosas do Alto da Serra do Botucará. In: HARTMANN, Léo Afraneo; SILVA,

Juliano Tonezer da (orgs.). **Tecnologias para o Setor de Gemas, Joias e Mineração**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2010.

FOLLE, Daiane et al. Waste generation in Agate processing: use of SiO<sub>2</sub> as a support material for Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. **International Journal of Civil and Structural Engineering– IJCSE**, v. 2, n. 1, 2015. Disponível em: <<http://www.seekdl.org/nm.php?id=4601>>. Acesso em: 12 nov. 2015.

FRESNER, Johannes. Cleaner production as a means for effective environmental Management. **Journal of Cleaner Production**. v. 6, n. 3-4, p. 171-179, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965269800002X>>. Acesso em: 05 out. 2013.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL – FEPAM. **Portaria nº 16/2010**, de 26 de abril de 2010. Porto Alegre: FEPAM, 2010 a. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/legislacao/arq/Portaria016-2010.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2015.

\_\_\_\_\_. **Diretriz Técnica nº 001/2010**, de 23 de julho de 2010. Diretriz técnica para a atividade de incorporação de resíduos sólidos em processos industriais. Porto Alegre: FEPAM, 2010 b.

FURTADO, Celso. **O mito do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Círculo do Livro S.A., 1974.

FUSFELD, Daniel R.. **A Era do Economista**. São Paulo: Editora Saraiva, 2001.

GALLOPIN, Gilberto C.. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators: A systems approach. **Environmental Modeling and Assessment**, v.1, p. 101-117, 1996. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF01874899#page-1>>. Acesso em: 14 abr. 2015.

GAVRILESCU, Maria. Cleaner production as a tool for sustainable development. **Environmental Engineering and Management Journal**. v. 3, n. 1, p. 45-70, 2004. Disponível em: <<http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=fa0ea8a0-ae4e-4c58-8cf4-ce0ba42ecbdb%40sessionmgr4003&vid=2&hid=4209>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

GEM CUTTERS NEWS. Award Winning Bulletin of the Gem Cutters Guild of Baltimore, Inc. Baltimore, Maryland, v.60, n. 7, September, 2011. Disponível em: <[http://gemcuttersguild.com/images/GCG\\_Sept\\_11web.pdf](http://gemcuttersguild.com/images/GCG_Sept_11web.pdf)>. Acesso em 12 nov. 2015.

GEORGESCU-ROEGAN, Nicholas. **O Decrescimento**: entropia, ecologia, economia. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012.

GLOBAL REPORTING INITIATIVE - GRI. **G4 Sustainability Reporting Guidelines**. Amsterdam, 2013. Disponível em: <<https://www.globalreporting.org>>. Acesso em: 14 abr. 2015.

GONZÁLEZ, Pablo del Río. Analysing the Factors Influencing Clean Technology Adoption: A Study of the Spanish Pulp and Paper Industry. **Business Strategy and the Environmen**. v.

14, p. 20–37, 2005. Disponível em:

<<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=6af4c4e3-e2ed-421e-8882-7015c84460ae%40sessionmgr4002&hid=4201>>. Acesso em: 22 ago. 2015.

GUIMARÃES, Roberto Pereira; FEICHAS, Susana Arcangela Quacchia. Desafios na Construção de Indicadores de Sustentabilidade. **Ambiente & Sociedade**. Campinas, v. XII, n. 2, p. 307-323, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v12n2/a07v12n2.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2012.

HAMMOND, Allen; ADRIAANSE, Albert; RODENBURG, Eric; BRYANT, Dirk; WOODWARD, Richard. **Environmental Indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance the context of sustainable development**. World Resource Institute, 1995. Disponível em: <[http://pdf.wri.org/environmentalindicators\\_bw.pdf](http://pdf.wri.org/environmentalindicators_bw.pdf)>. Acesso em 12 abr. 2015.

HARDI, Peter; ZDAN, Terrence. **Assessing Sustainable Development: Principles in Practice**. International Institute for Sustainable Development, 1997. Disponível em: <<https://www.iisd.org/pdf/bellagio.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2015.

HAUSCHILD, M.; JESWIET, J.; ALTING, L. From Life Cycle Assessment to Sustainable Production: Status and Perspectives. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**. v. 54, p. 1-21, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850607600171>>. Acesso em: 04 jun. 2014.

HENRI, Jean François; JOURNEAULT, Marc. Environmental performance indicators: An empirical study of Canadian manufacturing firms. **Journal of Environmental Management**, v. 87, p. 165 –176, 2008. Disponível em: <<http://www.environmentalmanager.org/wp-content/uploads/2008/04/epi-1.pdf>>. Acesso em 26 jun. 2015.

HILSON, G.. Barriers to implementing Cleaner Technologies and Cleaner Production (CP) practices in the mining industry: a case study of the Americas. **Minerals Engineering**, v. 13, n.7, p. 699-717, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687500000558>>. Acesso em: 30 ago. 2012.

\_\_\_\_\_. Defining “cleaner production” and “pollution prevention” in the mining context. **Minerals Engineering**. v. 16, n. 4, p. 305–321, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687503000128>>. Acesso em: 05 out. 2013.

HOUSTON GEM AND MINERAL SOCIETY. The Backbender’s Gazette - The Newsletter of the Houston Gem & Mineral Society. Houston, TX, v. XXXVIII, n. 10, 2007. Disponível em: <<http://www.hgms.org/BBG/Oct07.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEMAS E METAIS PRECIOSOS - IBGM. **Políticas e Ações para a Cadeia Produtiva de Gemas e Joias**. Brasília, Brisa, 2005. Disponível em: <[http://www.ibgm.com.br/admin/\\_upload/biblioteca/documento/131-politicaeacoesparaacadeiaprodutivadegemasejoias.pdf](http://www.ibgm.com.br/admin/_upload/biblioteca/documento/131-politicaeacoesparaacadeiaprodutivadegemasejoias.pdf)>. Acesso em: 30 ago. 2012.

\_\_\_\_\_. **O setor em grandes números – 2010**. Disponível em: <<http://www.ibgm.com.br>>, acessado em 11/03/2012.

\_\_\_\_\_. **O setor em grandes números: situação atual e perspectivas do mercado interno e externo**. Disponível em: <<http://www.ibgm.com.br>>. Acesso em: 30 set. 2013.

\_\_\_\_\_. **Relatório de Planejamento Estratégico dos APL**. Disponível em <<http://www.ibgm.com.br/blog/relatorio-de-planejamento-estrategico-dos-apl-2/>>. Acesso em: 14 mar. 2015.

INSTITUTO ETHOS. **Indicadores Ethos para negócios sustentáveis e responsáveis**. Instituto Ethos de Empresas e Responsabilidade Social, setembro 2014. Disponível em: <<http://www3.ethos.org.br/conteudo/iniciativas/indicadores/#.VPWIAPnF9OI>>. Acesso em: 17 jan. 2015.

INTERNATIONAL UNION FOR THE CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES - IUCN. **World Conservation Strategy: living resource conservation for sustainable development**, 1980. Disponível em: <<https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/WCS-004.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2015.

JACOBI, Pedro. Poder local, políticas sociais e sustentabilidade. **Saúde e Sociedade**. São Paulo, v. 8, n.1, p. 31-48, 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sausoc/v8n1/04>>. Acesso em: 29 out. 2013.

JOUNG, Che B.; CARRELL, John; SARKAR, Prabir; FENG, Shaw C.. Categorization of indicators for sustainable manufacturing. **Ecological Indicators**, v. 24, p. 148-157, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X12002294>>. Acesso em: 11 mar. 2015.

KEEBLE, Justin J.; TOPIOL, Sophie; BERKELEY, Simon. Using Indicators to Measure Sustainability Performance at a Corporate and Project Level. **Journal of Business Ethics**. v. 44, p. 149–158, 2003. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1023343614973#page-1>>. Acesso em: 29 jan. 2015.

KEMP, René; VOLPI, Massimiliano. The diffusion of clean technologies: a review with suggestions for future diffusion analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, p. 14-21, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965260700203X>>. Acesso em: 26 out. 2013.

KIPERSTOK, Asher. Tecnologias limpas: porque não fazer já o que certamente virá amanhã. **Revista TECBAHIA**, v. 14, n. 2, 1999. Disponível em: <[http://www.teclim.ufba.br/site/material\\_online/publicacoes/pub\\_art69.pdf](http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/publicacoes/pub_art69.pdf)>. Acesso em: 26 out. 2013.

KLEMES, Jirí Jaromír; VARBANNOV, Petar Sabev; HUISINGH, Donald. Recent cleaner production advances in process monitoring and optimization. **Journal of Cleaner Production**, v. 34, p. 1-8, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612002247>>. Acesso em: 10 mar.

2015.

KRAJNC, Damjan; GLAVIC, Peter. Indicators of sustainable production. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 5, p. 279-288, 2003. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10098-003-0221-z#page-1>>. Acesso em: 13 jul. 2015.

LAYRARGUES, Philippe Pomier. Sistemas de gerenciamento ambiental, tecnologia limpa e consumidor verde: a delicada relação empresa–meio ambiente no ecocapitalismo. **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo, v. 40, n. 2, p. 80-88, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rae/v40n2/v40n2a09.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2013.

LEE, Ju Yeon; LEE, Y. Tina. A framework for a research inventory of sustainability assessment in manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 79, p. 207-218, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614004521>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

LEFF, Enrique. **Saber Ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2001.

MACHADO, Verônica Radaelli; STÜLP, Simone. Avaliação de um sistema oxidativo avançado aplicado na degradação do corante orgânico Rodamina-B. **Revista Jovens Pesquisadores**. Santa Cruz do Sul, v. 3, n. 1, p. 67-77, 2013. Disponível em: <<http://online.unisc.br/seer/index.php/jovenspesquisadores/article/view/3579>>. Acesso em: 23 abr. 2015.

MALHEIROS, Tadeu Fabrício; COUTINHO, Sonia Maria Viggiani; PHILIPPI JR, Arlindo. Desafio do uso de indicadores na avaliação da sustentabilidade. In: PHILIPPI JR, Arlindo; MALHEIROS, Tadeu Fabrício (editores). **Indicadores de Sustentabilidade e Gestão Ambiental**. Barueri: Manole, 2012.

MEDEIROS, Denise. D. de; CALABRIA, Felipe A.; SILVA, Gisele C. S. da; SILVA FILHO, Júlio C. G. da. Aplicação da Produção mais Limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua. **Produção**. São Paulo, v. 17, n. 1, p. 109-128, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132007000100008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132007000100008&script=sci_arttext)>. Acesso em: 16 nov. 2012.

MEADOWS, Donella. **Indicators and information systems for sustainable development: a report to the Balaton Group**. The Sustainability Institute, 1998. Disponível em: <[http://www.iisd.org/pdf/s\\_ind\\_2.pdf](http://www.iisd.org/pdf/s_ind_2.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2014.

MICHAELLIS. **Dicionário Online**. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/>>. Acesso em: 04 jun. 2015.

NARDO, Michela et al. **Tools for Composite Indicators Building**. European Communities, 2005. Disponível em: <[http://bookshop.europa.eu/ro/tools-for-composite-indicators-building-pbLBNA21682/downloads/LB-NA-21682-EN-C/LBNA21682ENC\\_002.pdf;pgid=y8dIS7GUWMdSR0EAIMEUUsWb0000mjXEX3gJ;sid=V5APuXUgEqAPHSeY9TaRHhcFUEMJatfjK8A=?FileName=LBNA21682ENC\\_002.pdf&S](http://bookshop.europa.eu/ro/tools-for-composite-indicators-building-pbLBNA21682/downloads/LB-NA-21682-EN-C/LBNA21682ENC_002.pdf;pgid=y8dIS7GUWMdSR0EAIMEUUsWb0000mjXEX3gJ;sid=V5APuXUgEqAPHSeY9TaRHhcFUEMJatfjK8A=?FileName=LBNA21682ENC_002.pdf&S)>

[KU=LBNA21682ENC\\_PDF&CatalogueNumber=LB-NA-21682-EN-C](#)>. Acesso em: 22 jul. 2015.

NASCIMENTO, Elimar Pinheiro do. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 51-64, 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142012000100005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142012000100005&script=sci_arttext)>. Acesso em 25 jan. 2015.

NESS, Barry; URBEL-PIRSALU, Evelin; ANDERBERG, Stefan; OLSSON, Lennart. Categorising tools for sustainability assessment. **Ecological Economics**, v. 60, p. 498-508, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800906003636>>. Acesso em: 26 jun. 2015.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **OECD Environmental Indicators: development, measurement and use**, 2003. Disponível em: <<http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2015.

\_\_\_\_\_. **Handbook on Constructing Composite Indicators: methodology and user guide**, 2008. Disponível em: <<http://www.oecd.org/std/42495745.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2015.

PETROBRAS DISTRIBUIDORA S. A - PETROBRAS. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ**. Produto: Óleo diesel marítimo. 15 out. 2014. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/df3e998043a79983b63abfecc2d0136c/fispq-oleodiesel-mar-maritimo.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 18 jul. 2015.

\_\_\_\_\_. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ**. Produto: Xileno. 23 jun. 2015a. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/3506f60043a7a096bedbbfecc2d0136c/fispq-quim-sol-arom-xileno.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 18 jul. 2015.

\_\_\_\_\_. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ**. Produto: Tolueno. 23 jun. 2015b. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/2b25800043a79d82ba8abfecc2d0136c/fispq-quim-sol-arom-tolueno.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 18 jul. 2015.

PRESTES, Osmar D.; FRIGGI, Caroline A.; ADAIME, Martha B.; ZANELLA, Renato. QuEChERS – um método moderno de preparo de amostra para determinação multirresíduo de pesticidas em alimentos por métodos cromatográficos acoplados à espectrometria de massas. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1620-1634, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n6/46.pdf>>. Acesso em 12 nov. 2015.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE - PNUMA. **La Producción Más Limpia Y el Consumo Sustentable em América Latina Y el Caribe**. México, 2004. Disponível em: <<http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx0584xPA-LACcpES.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2013.

PORTER, Michael E. ; VAN DER LINDE, Claas. Green and Competitive: Ending the Stalemate. **Harvard Business Review**, September-October 1995. Disponível em:

<[http://www.uvm.edu/~gflomenh/ENRG-POL-PA395/readings/Porter\\_Linde.pdf](http://www.uvm.edu/~gflomenh/ENRG-POL-PA395/readings/Porter_Linde.pdf)>. Acesso em: 25 jan. 2015.

RAGAS, A. M. J.; et al.. Towards a sustainability indicator for production systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 3, p. 123-129, 1995. Disponível em: <[http://ac.els-cdn.com/095965269500064L/1-s2.0-095965269500064L-main.pdf?\\_tid=e005c24c-6331-11e3-ba03-0000aacb362&acdnat=1386855341\\_01e3e15b3f6836bd8abc68fe4fe44b4a](http://ac.els-cdn.com/095965269500064L/1-s2.0-095965269500064L-main.pdf?_tid=e005c24c-6331-11e3-ba03-0000aacb362&acdnat=1386855341_01e3e15b3f6836bd8abc68fe4fe44b4a)>. Acesso em: 26 out. 2013.

RIBEIRO, Wagner Costa. Em busca da qualidade de vida. In: PINSKY, Jaime; PINSKY, Bassanezi (orgs). **História da Cidadania**. São Paulo: Contexto, 2008.

RICE, Eugene W. et al. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington (DC): American Public Health Association, 2012.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Fazenda. **Legislação Tributária**. Disponível em: <<http://www.legislacao.sefaz.rs.gov.br/Site/Area.aspx?inpKey=3>>. Acesso em: 26 mar. 2015.

RITTER, Max A. **Avaliação da estabilidade da emulsão óleo/água proveniente dos resíduos de uma indústria beneficiadora de gemas frente ao uso de diferentes surfactantes**. Monografia (graduação) – Curso de Química Industrial, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2012.

SACHS, Ignacy. Estratégias de transição para o século XXI. In: BURSZTYN, Marcel (org). **Para pensar o Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Editora Brasiliense, 1993.

\_\_\_\_\_. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

SACHS, Wolfgang (editor). **Dicionário do desenvolvimento: guia para o conhecimento como poder**. Petrópolis: Editora Vozes, 2000.

SAVITZ, Andrew W.; WEBER, Karl. The Sustainability Sweet Spot. **Environmental Quality Management**, p. 17-28, Winter 2007. Disponível em: <<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=a3836bc7-79d2-4102-8a46-f7e0e314a412%40sessionmgr112&vid=4&hid=128>>. Acesso em: 01 mai. 2015.

SCHRAMM, Wilhelm. Possibilities and limitations of a comparative assessment of process technologies from a cleaner production point of view. **Journal of Cleaner Production**, v. 6, p. 227-235, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652698000171>>. Acesso em: 05 out. 2013.

SCHUMPETER, Joseph A.. **Capitalismo, Socialismo e Democracia**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1984.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS - SEBRAE. **Critérios e conceitos para classificação de empresas**. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/uf/goias/indicadores-das-mpe/classificacao-empresarial/criterios-e-conceitos-para-classificacao-de-empresas/criterios-e-conceitos-para-classificacao-de-empresas>>. Acesso em: 02 dez. 2013.

SEIFFERT, Mari Elisabete Bernardini. **Sistemas de Gestão Ambiental (SGA-ISO 14001)**. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2011.

SEGNESTAM, Lisa. **Indicators of Environment and Sustainable Development: Theories and Practical Experience**. The World Bank, 2002. Disponível em: <<http://siteresources.worldbank.org/INTEEI/936217-1115801208804/20486265/IndicatorsofEnvironmentandSustainableDevelopment2003.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

SIKDAR, Subhas K.. Sustainable Development and Sustainability Metrics. **AIChE Journal**. v. 49, n. 8, p. 1928-1932, 2003. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aic.690490802/epdf>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

SILVA, Rodrigo de Almeida; SCHNEIDER, Ivo André H. Geração de resíduo no processamento de ágatas. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 2, n. 1, p. 11-16, 2015. Disponível em: <<https://seer.imed.edu.br/index.php/revistaec/article/download/778/581>>. Acesso em: 12 nov. 2015.

STORTI, Adriana Troczinski; MAZON, Fernando Sergio. Estudo sobre o setor de pedras em Soledade (RS) sob a ótica das teorias dos distritos industriais. **Perspectiva Econômica**. v. 7, n. 1, p. 27-41, jan./jun. 2011. Disponível em: [http://revistas.unisinos.br/index.php/perspectiva\\_economica/article/view/1295/357](http://revistas.unisinos.br/index.php/perspectiva_economica/article/view/1295/357). >. Acesso em: 20 jul. 2015.

TANZIL, Dickson; BELLOF, Beth R. Beloff. Assessing Impacts: Overview on Sustainability Indicators and Metrics. **Environmental Quality Management**, v. 15, p. 41-56, 2006. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tqem.20101/abstract>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

THEODORO, Suzi Huff (org). **Mediação de conflitos sociambientais**. Rio de Janeiro: Garamond, 2005.

THOMÉ, Antônio; CECCHIN, Iziquiel; FREITAS, Mateus da Silva. Descontaminação de Resíduo Contaminado com Diesel com aplicação de Soil Washing Modificado. In: **Mostra de resultados de pesquisas aplicadas ao arranjo produtivo de gemas e joias do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2012.

UNITED NATIONS - UN. **Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies**. 3. ed. New York, 2007. Disponível em: <<http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/guidelines.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2013.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. **Taking Stock and Moving Forward: Sustainable Production in Practice in Developing and Transition Countries**. Austria, 2010. Disponível em: <<http://www.unep.org/resourceefficiency/Portals/24147/scp/cp/pdf/Taking%20Stock%20of%20NCPC%20Programme.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2012.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION- UNESCO. **Water in a changing world**. 2009. Disponível em:

<[http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr3/pdf/WWDR3\\_Water\\_in\\_a\\_Changing\\_World.pdf](http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr3/pdf/WWDR3_Water_in_a_Changing_World.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2015

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION - UNIDO. **Manual on the Development of Cleaner Production Policies: Approaches and Instruments Guidelines for National Cleaner Production Centres and Programmes**. Vienna: 2002. Disponível em: <[http://www.unido.org/fileadmin/import/9750\\_0256406e.pdf](http://www.unido.org/fileadmin/import/9750_0256406e.pdf)>. Acesso em: 05 out. 2013.

VEIGA, José Eli da. **Meio Ambiente & Desenvolvimento**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2006.

\_\_\_\_\_. **Sustentabilidade: a legitimação de um novo valor**. 2. ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2011.

\_\_\_\_\_. **A desgovernança mundial da sustentabilidade**. São Paulo: Editora 34, 2013.

VELEVA, Vesela; ELLENBECKER, Michael. Indicators of sustainable production: framework and methodology. **Journal of Cleaner Production**, v. 9, p. 519-549, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652601000105>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

VERFAILLIE, Hendrik A.; BIDWELL, Robin. **Measuring Eco-efficiency: A guide to reporting company performance**. WBCSD Geneva, 2000. Disponível em: <[http://www.bcsd.org.tw/sites/default/files/node/domain\\_tool/110.file.128.pdf](http://www.bcsd.org.tw/sites/default/files/node/domain_tool/110.file.128.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2015.

ZANATTA, Alexandre Lazaretti (org.). **Plano de desenvolvimento com metodologia participativa – APL pedras, gemas e joias** (Cidade Pólo Soledade). Passo Fundo: Graffoluz Editora e Indústria Gráfica Ltda., 2014. Disponível em: <<http://portalgemas.com.br/PDP.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

WALLING, Faulkner B.; OTTS JR., Louis E.. **Water Requirements of the Iron and Steel Industry**. United States Government Printing Office, Washington, 1967. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/wsp/1330h/report.pdf>>. Acesso em 17 jul. 2015.

WANG, Yifeng; MERINO, Enrique. Self-organizational origin of agates: Banding, fiber twisting, composition, and dynamic crystallization model. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Bloomington, v. 54, p. 1627-1638, 1990. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016703790903963>>. Acesso em: 05 jan. 2013.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD. **A Eco-eficiência: criar mais valor com menos impacto**. Portugal: Lisboa, 2000. Disponível em: <<http://www.bcsdportugal.org/wp-content/uploads/2013/11/publ-2004-Eco-eficiencia.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2015.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – Questionário

1. O que você entende por sustentabilidade?
2. Que atributos são importantes para a mensuração dos indicadores?
3. Quais são pontos os críticos que fortalecem o sistema de produção? E quais são os pontos críticos que debilitam/prejudicam os sistemas de produção?
4. Quais dimensões da sustentabilidade devem ser consideradas na proposição de indicadores?
5. Que indicadores são adequados para exprimir condições para sustentabilidade?
6. Considerando os dados sobre o levantamento do uso de insumos e geração de resíduos, o que você julga mais e menos importante?
7. Que tipo de controle de gestão a empresa já vem realizando? Práticas de qualidade (gestão econômica, ambiental, social)?
8. Quem são os *stakeholders* da empresa?
9. O que é necessário para uma empresa do setor de gemas iniciar suas atividades?
10. Que tipo de licenças é necessário e quem emite?
11. Existem limites definidos de qual é o volume de geração de resíduos?
12. Quais são os processos/procedimentos que empresa vem realizando para o reaproveitamento de resíduos e/ou peças produzidas com defeitos?
13. Qual é a incidência de doenças dos funcionários? Que tipo e gravidade? Existe relação com a atividade ou meio de trabalho?
14. Quais são as ações que a empresa vem desenvolvendo para reduzir a geração de resíduos e/ou reciclagem e/ou recuperação de materiais?
15. Como a empresa se compara, em termos ambientais e atenção social comunitária, com similares na região/estado?
16. Quais são as principais dificuldades do setor?
17. Qual a inserção da empresa na comunidade?
18. A empresa participa de alguma entidade de classe?
19. A empresa realiza planejamento estratégico?
20. Quais são os principais produtos produzidos e os mercados atendidos?
21. Como são realizadas as tomadas de decisão?

## APÊNDICE B – Definição dos indicadores

### *Dimensão Ambiental*

| Variável | Nome                                 | Definição   | Tipo de medida | Unidade Medida    | Referência   |
|----------|--------------------------------------|---|----------------|-------------------|--|
| 1.1      | Consumo de água                      | $= \frac{\textit{consumo total de água}}{\textit{volume gemas brutas beneficiadas}}$  | quantitativo   | m <sup>3</sup> /t | Observado a partir da conta de água emitida pela companhia de abastecimento de água, da estimativa do consumo proveniente de poço artesiano e da matéria prima utilizada no processo de produção |
| 1.2      | Consumo de energia elétrica          | $= \frac{\textit{consumo total de energia elétrica}}{\textit{volume gemas brutas beneficiadas}}$                            | quantitativo   | kWh/t             | Observado a partir da conta de energia elétrica emitida pela companhia prestadora do serviço e da matéria prima utilizada no processo de produção  |
| 1.3      | Consumo de combustível               | $= \frac{\textit{consumo total óleo diesel marítimo}}{\textit{volume gemas brutas beneficiadas}}$                           | quantitativo   | l/t               | Notas fiscais de compras de combustíveis e da matéria prima utilizada no processo de produção  |
| 2.1      | Reciclagem de óleo                   | $= \frac{\textit{volume óleo reciclado}}{\textit{volume total óleo necessário}}$  | quantitativa   | %                 | Fichas de controle do setor de tratamento do resíduo   |
| 2.2      | Recuperação de gemas                 | $= \frac{\textit{volume gemas recuperadas}}{\textit{volume total resíduo de gemas}}$  | quantitativa   | %                 | Fichas de controle do setor de tratamento do resíduo   |
| 3.1      | Geração total de resíduo (lodo)      | $= \frac{\textit{volume total lodo}}{\textit{volume total gemas beneficiadas}}$   | quantitativa   | %                 | Fichas de controle do setor de tratamento do resíduo e do processo de produção   |
| 3.2      | Produção de peças com defeito        | $= \frac{\textit{volume peças produzidas com defeito}}{\textit{volume total gemas beneficiadas}}$                           | quantitativo   | %                 | Fichas da produção de produção   |
| 3.3      | Geração de resíduo sem tratamento    | $= \frac{\textit{volume lodo destinado para ARIP}}{\textit{volume total lodo gerado}}$                                      | quantitativo   | %                 | Fichas de controle do setor de tratamento do resíduo e documentos de remessa de resíduos   |
| 4.1      | Adoção de SAG                        | A empresa adota algum sistema de gestão ambiental?  | Qualitativo    | Sim/Não           | Informação fornecida através de entrevista com proprietário(s)/gestor(es) da empresa   |
| 4.2      | Adoção de práticas de RSE/Sustentab. | A empresa adota práticas de responsabilidade sócio-empresarial ou visando sustentabilidade?                                 | Qualitativo    | Sim/Não           | Informação fornecida através de entrevista com proprietário(s)/gestor(es) da empresa   |
| 4.3      | Notificações de irregularidades      | A empresa foi notificada por órgãos fiscalizadores em decorrência de práticas não legais e/ou irregularidades na atividade? | Qualitativo    | Sim/Não           | Informação fornecida através de entrevista com proprietário(s)/gestor(es) da empresa   |

*Dimensão Econômica*

| Variável | Nome   | Definição  | Tipo de medida | Unidade Medida    | Referência   |
|----------|--|--|----------------|-------------------|--|
| 5.1      | Economia decorrente da recuperação ou reciclagem materiais | $= \frac{\text{economia recuperação / reciclagem (R\$)}}{\text{custo total de produção}}$              | quantitativo   | m <sup>3</sup> /t | Informação fornecida através de entrevista com proprietário(s)/gestor(es) da empresa |
| 5.2      | Custos pela disposição de resíduos                         | $= \frac{\text{custo com disposição resíduos em ARIP}}{\text{custo total de produção}}$                | quantitativo   | %                 | Notas fiscais de cobrança  |
| 5.3      | Realização de investimentos                                | A empresa realiza investimentos no setor produtivo?  | qualitativo    | Sim/Não           | Informação fornecida através de entrevista com proprietário(s)/gestor(es) da empresa |
| 5.4      | Canais de Comercialização                                  | Quantos canais de comercialização são utilizados pela empresa para oferta de seus produtos no mercado? | quantitativa   | Unidades          | Informação fornecida através de entrevista com proprietário(s)/gestor(es) da empresa |
| 6.1      | Desenvolvimento de novos produtos                          | A empresa desenvolve novos produtos para atender demandas?   | qualitativo    | Sim/Não           | Informação fornecida através de entrevista com proprietário(s)/gestor(es) da empresa |
| 6.2      | Receita de novos produtos                                  | $= \frac{\text{receita com novos produtos}}{\text{faturamento total da empresa}}$                      | quantitativa   | %                 | Informação fornecida através de entrevista com proprietário(s)/gestor(es) da empresa |

*Dimensão Social*

| Variável | Nome                                      | Definição  | Tipo de medida | Unidade Medida | Referência   |
|----------|---|--|----------------|----------------|--|
| 7.1      | Capacitação e treinamento de funcionários | A empresa promove cursos de capacitação e treinamento para os funcionários                               | qualitativo    | Sim/Não        | Informação fornecida através de entrevista com proprietário(s)/gestor(es) da empresa |
| 7.2      | Incidência de acidentes de trabalho       | Número de acidentes de trabalho  | qualitativo    | Sim/Não        | Registro de ocorrência de acidentes de trabalho                                      |
| 8.1      | Índice de Rotatividade                    | $= \frac{\text{Admissões} + \text{Desligamentos}}{2} \times 100$<br><i>efetivo médio de funcionários</i> | quantitativo   | X              | Informação fornecida através de entrevista com proprietário(s)/gestor(es) da empresa |

|     |                                    |   |             |         |  |
|-----|------------------------------------|---|-------------|---------|--|
| 8.2 | Benefícios oferecidos pela empresa | A empresa oferece benefícios aos seus funcionários? | Qualitativo | Sim/Não | Informação fornecida através de entrevista com proprietário(s)/gestor(es) da empresa |
|-----|------------------------------------|---|-------------|---------|--|

### *Dimensão Tecnológica*

| Variável | Nome  | Definição  | Tipo de medida | Unidade Medida | Referência   |
|----------|---|--|----------------|----------------|--|
| 9.1      | Introdução de inovações tecnológicas            | A empresa realiza inovações tecnológicas?  | qualitativo    | Sim/Não        | Informação fornecida através de entrevista com proprietário(s)/gestor(es) da empresa |
| 9.2      | Adoção de práticas de P + L                     | A empresa adota práticas de P + L?   | qualitativo    | Sim/Não        | Informação fornecida através de entrevista com proprietário(s)/gestor(es) da empresa |
| 10.1     | Participação em P & D e/ou atividades setoriais | A empresa participa de projetos de pesquisa e desenvolvimento e/ou atividades setoriais? | qualitativo    | Sim/Não        | Informação fornecida através de entrevista com proprietário(s)/gestor(es) da empresa |

## APÊNDICE C – Normalização das variáveis e indicadores

Tabela com pesos e medidas por variáveis, atributos, dimensões e o índice de sustentabilidade

|                            | Dimensão        | Atributo                | Indicador                                    | Variável                        | Parâmetros                          | Peso | Resultado empresa  | Notas  |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|--|---------------------------------|-------------------------------------|------|--|--|
| Índice de Sustentabilidade | Ambiental (25%) | Produtividade (50%)     | Consumo de recursos (33,3%)                  | Consumo de água                 | Até 50 m <sup>3</sup> /tonelada     | 3    | 3  | Para este indicador não há parâmetros, sendo que o consumo de água varia de maneira significativa de um setor para o outro. Assim, os valores foram determinados pelo juízo de valor da pesquisadora, utilizando como referência o consumo requerido para a produção de aço. |
|                            |                 |                         |  |                                 | De 50 a 100m <sup>3</sup> /tonelada | 2    |  |  |
|                            |                 |                         |  |                                 | Mais de 100m <sup>3</sup> /tonelada | 1    |  |  |
|                            |                 |                         | Consumo de energia                           | Mais de 60% renovável           | 3                                   | 3    | Variável ajustada em função consumo energia renovável (KRAJNC; GLAVIC,2003). Assim $\frac{\text{consumo energia renovável}}{\text{consumo total energia}}$ |  |
|                            |                 |                         |  | 30 até 60% renovável            | 2                                   |      |  |  |
|                            |                 |                         |  | Menos de 30% renovável          | 1                                   |      |  |  |
|                            |                 |                         | Consumo de combustível                       | Até 60 l/tonelada               | 3                                   | 2    | Para beneficiar 1 tonelada, são necessários aproximadamente 200 litros óleo. Assim, os valores foram definidos utilizando-se como referência 30% e 60%.    |  |
|                            |                 |                         |  | De 60 a 120 l/tonelada          | 2                                   |      |  |  |
|                            |                 |                         |  | Mais de 120 l/tonelada          | 1                                   |      |  |  |
|                            |                 |                         | Recuperação/ reciclagem de materiais (33,3%) | Reciclagem de óleo              | Mais de 60%                         | 3    | 1  | Os parâmetros foram definidos considerando-se 1/3 dos resultados. Porém, os valores foram arredondados para baixo, pois a geração de resíduos é inerente à produção.   |
|                            |                 |                         |  |                                 | De 30 a 60%                         | 2    |  |  |
|                            |                 |                         | Passivo ambiental (33,3%)                    | Geração total de resíduo (lodo) | Menos de 30%                        | 3    | 2  | Os parâmetros foram definidos considerando-se 1/3 dos resultados. Porém, os valores foram arredondados para baixo, pois a geração de resíduos é inerente à produção.   |
|                            |                 |                         |  |                                 | De 30 a 60%                         | 2    |  |  |
|                            |                 | Mais de 60%             |  |                                 | 1                                   |      |  |  |
|                            |                 | Gestão ambiental (100%) | Adoção sistema de gestão ambiental           | Sim                             | 3                                   | 1    | Variável qualitativa   |  |
|                            |                 |                         |  | -                               | 2                                   |      |  |  |
|                            |                 |                         |  | Não                             | 1                                   |      |  |  |
|                            |                 | Resiliência (50%)       | Adoção de práticas de RSE/Sustentabilidade   | Sim                             | 3                                   | 3    | Variável qualitativa   |  |
|                            |                 |                         |  | -                               | 2                                   |      |  |  |
|                            | Não             |                         |  | 1                               |                                     |      |  |  |
|                            |                 | Notificações de         | Não  |                                 | 3                                   | 3    | Variável qualitativa   |  |

|                                     |                            |   |   |  |  |                                      |  |
|-------------------------------------|----------------------------|---|---|--|--|--------------------------------------|--|
|                                     |                            |   | irregularidades   | -<br>Sim   | 2<br>1                                   |                                      |  |
| <b>Econômica (25%)</b>              | <b>Produtividade (50%)</b> | <b>Gestão e diversificação da atividade (50%)</b> | Economia decorrente da recuperação ou reciclagem de materiais | Mais de 5%<br>Entre 1% e 5%<br>Menos de 1%             | 3<br>2<br>1                              | 2                                    | Os valores foram determinados pelo juízo de valor da pesquisadora. |
|                                     |                            |   | Custos disposição resíduos                                    | Menos de 1%<br>Entre 1% e 5%<br>Mais de 5%             | 3<br>2<br>1                              | 3                                    | Os valores foram determinados pelo juízo de valor da pesquisadora. |
|                                     |                            |   | Realização de investimentos                                   | Sim<br>-<br>Não  | 3<br>2<br>1                              | 3                                    | Variável qualitativa   |
|                                     |                            |   | Canais de comercialização                                     | 5 ou mais canais<br>Entre 3 a 4 canais<br>Até 2 canais | 3<br>2<br>1                              | 3                                    | Os valores foram determinados pelo juízo de valor da pesquisadora. |
|                                     | <b>Resiliência (50%)</b>   | <b>Adaptabilidade a mudanças (50%)</b>            | Desenvolvimento de novos produtos                             | Sim<br>-<br>Não  | 3<br>2<br>1                              | 3                                    | Variável qualitativa   |
|                                     |                            |   | Receita de novos produtos                                     | Mais de 5%<br>Entre 1% e 5%<br>Menos de 1%             | 3<br>2<br>1                              | 1                                    | Os valores foram determinados pelo juízo de valor da pesquisadora. |
|                                     | <b>Social (25%)</b>        | <b>Produtividade (50%)</b>                        | <b>Condições de trabalho (50%)</b>                            | Capacitação e treinamento de funcionários              | Sim<br>-<br>Não                          | 3<br>2<br>1                          | 3  |
| Incidência de acidentes de trabalho |                            |   |   | Sim<br>-<br>Não  | 3<br>2<br>1                              | 3                                    | Variável qualitativa   |
| <b>Resiliência (50%)</b>            |                            | <b>Satisfação do trabalhador (50%)</b>            | Rotatividade  | Até 10%<br>Entre 10 e 25%<br>Mais de 25%               | 3<br>2<br>1                              | 2                                    | Os valores foram determinados pelo juízo de valor da pesquisador.  |
|                                     |                            |   | Benefícios oferecidos pela empresa                            | Sim<br>-<br>Não  | 3<br>2<br>1                              | 1                                    | Variável qualitativa   |
|                                     |                            |   | <b>Tecnológica (25%)</b>                                      | <b>Produtividade (50%)</b>                             | <b>Investimentos Tecnológicos (100%)</b> | Introdução de inovações tecnológicas | Sim<br>-<br>Não  |
| Adoção de práticas de P + L         | Sim<br>-<br>Não            | 3<br>2<br>1                                       |   |  |  | 3                                    | Variável qualitativa   |

|  |  |                      |                               |                       |                 |             |   |                      |
|--|--|----------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------|---|----------------------|
|  |  | Resiliência<br>(50%) | Capacidade de inov.<br>(100%) | Participação em P & D | Sim<br>-<br>Não | 3<br>2<br>1 | 3 | Variável qualitativa |
|--|--|----------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------|---|----------------------|

## **ANEXOS**

## ANEXO A – Laudo de análise do GC/MS dos blocos cerâmicos



CENTRO TECNOLÓGICO EM PESQUISA E  
PRODUÇÃO DE ALIMENTOS – CTPPA  
Laudo de análises CTPPA-2014/13



### 1-Material

Material apresentado para análise pela prof<sup>a</sup>. Simone Stulp (Amostras de blocos cerâmicos maciços com e sem resíduo de gemas (lodo da serra de corte das gemas), produzido em uma empresa de lapidação.. O lodo de gemas proveniente da empresa Caye Pedras Brasil de Teutônia, RS, apresentava pequena proporção de óleo diesel marítimo, usado para lubrificar a serra de corte.

As amostras foram submetidas ao laboratório de Cromatografia Gasosa do central instrumental do CTPPA, com o objetivo de realizar um estudo dos constituintes orgânicos voláteis presentes nas amostras.

### 2-Objetivo:

Realizar um estudo comparativo dos constituintes orgânicos voláteis presentes nas amostras de blocos cerâmicos maciços com e sem resíduo de gemas.

### 3-Análises

#### 3.1- Metodologia Empregada

Segundo informações do responsável pelo envio das amostras (blocos cerâmicos maciços), as mesmas, após o processo de prensagem, sofreram um pré-aquecimento a 60°C. Então, para análise do conteúdo de compostos orgânicos voláteis presente dentro e fora dos blocos cerâmicos, procedeu-se da seguinte forma.

As amostras recebidas foram separadas em contaminadas e sem contaminante. Após uma amostra da superfície (aproximadamente 1cm de espessura) e uma amostra do interior (região central do tijolo) foi coletada de cada amostra (figura 1), cerca de 10g de cada amostra foi macerada e homogeneizada em gral de porcelana com auxílio de um pistilo (figura 2).

**Figura 1:** (a) amostra de tijolo (cerâmica Bruxel) recebida, (b) amostra retirada do interior do tijolo, (c) amostra da superfície do tijolo.



**Figura 2:** (a) amostra macerada, (b) 10g de amostra sem e com resíduo retirado do interior e da superfície do tijolo após maceração.



Após este procedimento, as amostras foram divididas para análise por cromatografia gasosa por duas metodologias diferentes, sendo que na primeira uma porção de 4g pesada é transferida diretamente para frascos vials de head-space do CG, os quais foram selados e submetidos à análise nas condições especificadas.

Outra porção do interior das amostras 4g foi homogeneizada com 10 mL de hexano e filtrada por gravidade, sendo uma alíquota do filtrado desta amostra retirada e analisada diretamente no CG sob condições especificadas.

### 3.2-Condições de Análise:

#### 3.2.1-Condições de injeção nomodo head-space:

As amostras de 4g de tijolo (previamente maceradas em gral de porcelana e homogeneizadas) foram adicionadas em frasco de 20 mL próprios para o sistema headspace do cromatógrafo gasoso. Estes frascos foram lacrados com tampas contendo septode PTFE/silicone azul e submetidos à análise no GC/MS modelo QP2010 Ultra da marca Shimadzu, equipado com coluna capilar de sílica fundida de baixa polaridade; fase ligada 5% difenil e 95% dimetilpolissiloxano RTx-5MS de (Restek, 30 m de comprimento x 0.25 mm *d.i.*, 0.25  $\mu$ m de espessura de filme). Os frascos das amostras foram colocados no amostrador automático tipo headspace AOC 5000 e aquecidos a 50°C na incubadora para o pré-condicionamento durante 10 min. Após atingir o equilíbrio, a seringa de 2,5 mL (também aquecida a 50°C) coleta uma alíquota gasosa e

injeta no equipamento.

### **Condições de Análise**

As amostras foram submetidas à análise em um cromatógrafo gasoso acoplado a um espectrômetro de massa, sendo injetadas amostras de 100  $\mu\text{L}$  no modo split (1:20), nas seguintes condições de análise: velocidade linear de 1 mL/min com gás de arraste Hélio (He); pressão na coluna de 53 kPa; temperatura do injetor de 240 °C e temperatura do forno de 50 a 290 °C, com velocidade de aquecimento de 4 °C/min. O espectrômetro de massa foi utilizado no modo de ionização eletrônica a 70 eV, com varredura de  $m/z$  de 40 a 600 Da, em uma frequência de 2,94 scan/s. A fonte de íons foi mantida a 260 °C e a interfase a 280 °C. Os dados obtidos foram processados utilizando o software GC/MS Postrun Analysis. A identificação dos compostos foi baseada na comparação dos e espectro de massa descrito na biblioteca do software (Mass Spectral Database NIST/EPA/NIH).

### **3.2.2-Condições de injeção no modo líquido:**

Uma alíquota do extrato hexânico da amostra foi diluído numa proporção 5:20 (amostra e solvente) e submetido à análise no GC/MS modelo QP2010 Ultra da marca Shimadzu, equipado com coluna capilar de sílica fundida de baixa polaridade; fase ligada 5% difenil e 95% dimetilpolissiloxano RTx-5MS (Restek, 30 m de comprimento x 0.25 mm *d.i.*, 0.25  $\mu\text{m}$  de espessura de filme).

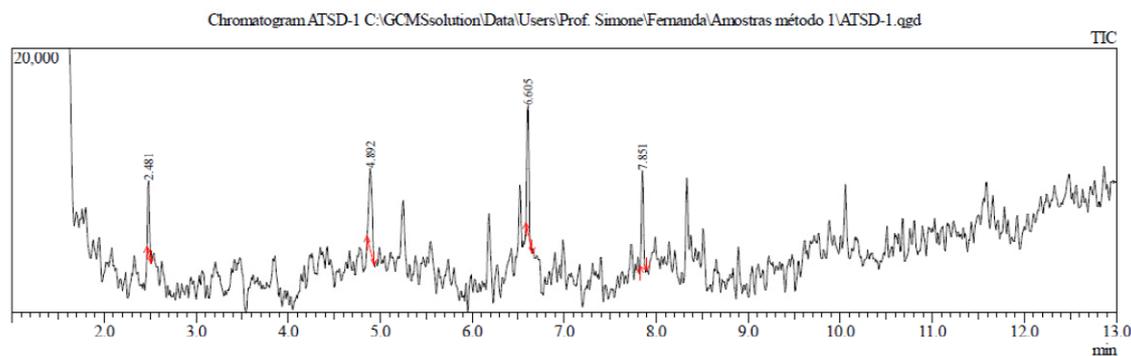
#### *Condições de Análise*

As amostras foram submetidas à análise em um cromatógrafo gasoso acoplado a um espectrômetro de massa, sendo injetadas amostras de 1  $\mu\text{L}$  no modo split (1:20), nas seguintes condições de análise: velocidade linear de 3 mL/min com gás de arraste Hélio (He); pressão na coluna de 53 kPa; temperatura do injetor de 240 °C e temperatura do forno de 130 a 250 °C, com velocidade de aquecimento de 2 a 20 °C/min. O espectrômetro de massa foi utilizado no modo de ionização eletrônica a 70 eV, com varredura de  $m/z$  de 40 a 600 Da, em uma frequência de 2,94 scan/s. A fonte de íons foi mantida a 260 °C e a interfase a 280 °C. Os dados obtidos foram processados utilizando o software GC/MS Postrun Analysis. A identificação dos compostos foi baseada na comparação dos espectros de massa descrita na biblioteca do software (Mass Spectral Database NIST/EPA/NIH). O índice de retenção foi obtido de acordo com o método de van den Dool e Kratz para padrões de *n*-alcanos C7-C30 (Supelco Analytical).



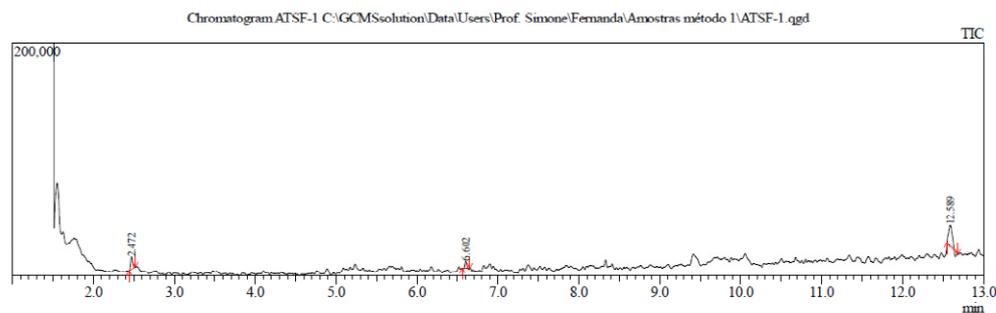
| Peak# | R.Time | I.Time | F.Time | Area   | Area%  | Height | Height% | A/H Name                         |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|----------------------------------|
| 1     | 1.555  | 1.517  | 1.667  | 136371 | 29.23  | 41356  | 17.44   | 3.30 2-Propanone, 1-methoxy-     |
| 2     | 2.476  | 2.450  | 2.508  | 11799  | 2.53   | 6429   | 2.71    | 1.84 Silanediol, dimethyl-       |
| 3     | 8.890  | 8.850  | 8.917  | 45314  | 9.71   | 29616  | 12.49   | 1.53 Dodecane                    |
| 4     | 9.034  | 8.917  | 9.067  | 32561  | 6.98   | 13611  | 5.74    | 2.39 Octane, 3,5-dimethyl-       |
| 5     | 9.616  | 9.567  | 9.642  | 38483  | 8.25   | 20949  | 8.84    | 1.84 Dodecane, 4,6-dimethyl-     |
| 6     | 9.882  | 9.842  | 9.925  | 62645  | 13.43  | 42839  | 18.07   | 1.46 Tridecane                   |
| 7     | 10.597 | 10.525 | 10.633 | 45596  | 9.77   | 20901  | 8.82    | 2.18 Dodecane, 2,6,10-trimethyl- |
| 8     | 10.803 | 10.775 | 10.858 | 58732  | 12.59  | 37119  | 15.66   | 1.58 Tetradecane                 |
| 9     | 11.666 | 11.625 | 11.692 | 34967  | 7.50   | 24258  | 10.23   | 1.44 10-Methylnonadecane         |
|       |        |        |        | 466468 | 100.00 | 237078 | 100.00  |                                  |

### Amostras de Tijolo Sem Lodo Dentro (ATSD):



| Peak# | R.Time | I.Time | F.Time | Area  | Area%  | Height | Height% | A/H Name                        |
|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|---------------------------------|
| 1     | 2.481  | 2.467  | 2.508  | 6807  | 14.82  | 5381   | 19.10   | 1.27 Silanediol, dimethyl-      |
| 2     | 4.892  | 4.858  | 4.933  | 14232 | 30.99  | 6048   | 21.46   | 2.35 p-Xylene                   |
| 3     | 6.605  | 6.583  | 6.650  | 13784 | 30.01  | 9466   | 33.59   | 1.46 Mesitylene                 |
| 4     | 7.851  | 7.825  | 7.900  | 11108 | 24.18  | 7283   | 25.85   | 1.53 Benzoic acid, methyl ester |
|       |        |        |        | 45931 | 100.00 | 28178  | 100.00  |                                 |

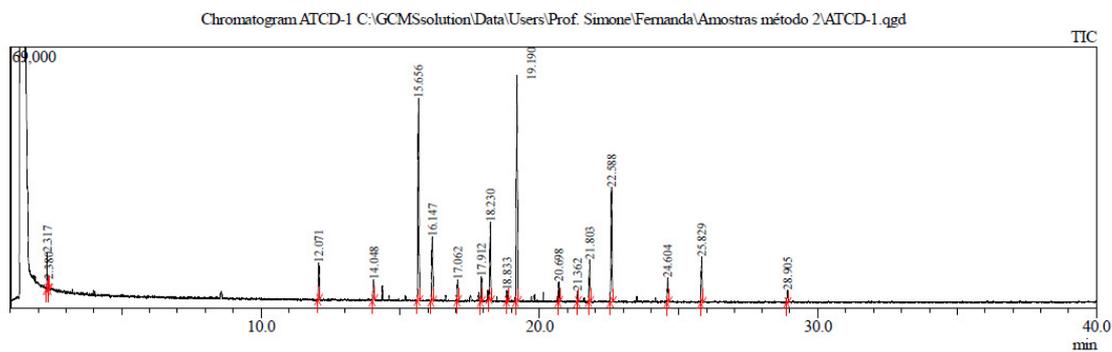
### Amostras de Tijolo Sem Lodo Fora (ATSF):



| Peak# | R.Time | I.Time | F.Time | Area   | Area%  | Height | Height% | A/H Name  |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---|
| 1     | 2.472  | 2.442  | 2.517  | 18388  | 18.16  | 10443  | 23.22   | 1.76 Silanediol, dimethyl-                      |
| 2     | 6.602  | 6.558  | 6.650  | 6736   | 6.65   | 5751   | 12.79   | 1.17 Mesitylene                                 |
| 3     | 12.589 | 12.550 | 12.683 | 45632  | 45.06  | 17525  | 38.97   | 2.60 Cyclooctasiloxane, hexadecamethyl-         |
| 4     | 13.715 | 13.683 | 13.775 | 30510  | 30.13  | 11254  | 25.02   | 2.71 1-(4-Hydroxy-3-methoxyphenyl)-1-ethoxyacet |
|       |        |        |        | 101266 | 100.00 | 44973  | 100.00  |   |

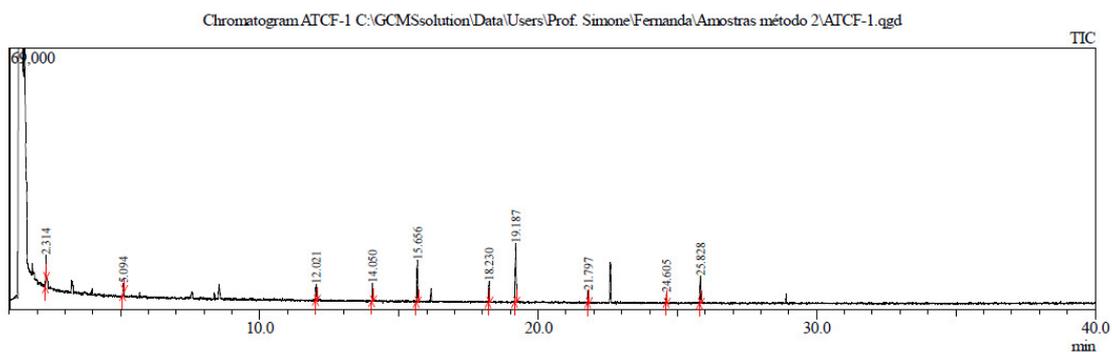
## Método Líquido

### Amostras de Tijolo Com Lodo Dentro (ATCD) :



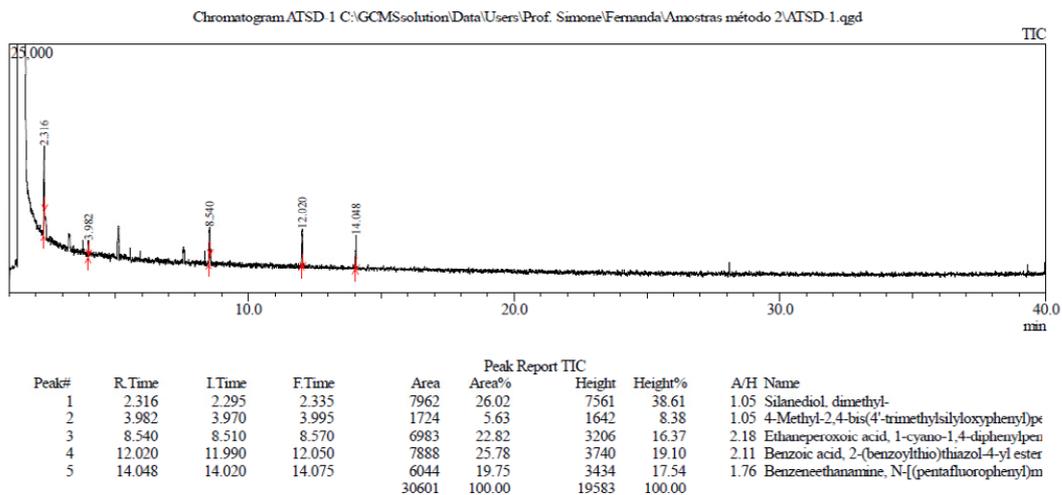
| Peak Report TIC |        |        |        |        |        |        |         |          |  |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|--|
| Peak#           | R Time | I Time | F Time | Area   | Area%  | Height | Height% | A/H Name |  |
| 1               | 2.317  | 2.290  | 2.355  | 14659  | 2.24   | 9570   | 3.64    | 1.53     | Silanediol, dimethyl-                        |
| 2               | 2.380  | 2.355  | 2.405  | 4933   | 0.75   | 2484   | 0.95    | 1.99     | 1,3-Oxazetid-2-one, 3-phenyl-                |
| 3               | 12.071 | 12.035 | 12.105 | 20336  | 3.10   | 9652   | 3.67    | 2.11     | 3-Hexanone, 2,4-dimethyl-                    |
| 4               | 14.048 | 13.995 | 14.080 | 12814  | 1.96   | 5405   | 2.06    | 2.37     | Cyclopentasiloxane, decamethyl-              |
| 5               | 15.656 | 15.605 | 15.705 | 138582 | 21.15  | 53162  | 20.24   | 2.61     | Nonane, 3,7-dimethyl-                        |
| 6               | 16.147 | 16.095 | 16.200 | 42403  | 6.47   | 16930  | 6.45    | 2.50     | Decane, 2,5,9-trimethyl-                     |
| 7               | 17.062 | 17.030 | 17.095 | 14184  | 2.16   | 5388   | 2.05    | 2.63     | Glycine, N-(3-methyl-1-oxo-2-butenyl)-, meth |
| 8               | 17.912 | 17.875 | 17.945 | 14334  | 2.19   | 6626   | 2.52    | 2.16     | 3-Hexanone, 2,5-dimethyl-                    |
| 9               | 18.230 | 18.185 | 18.270 | 47849  | 7.30   | 20385  | 7.76    | 2.35     | Butane, 2,2-dimethyl-                        |
| 10              | 18.833 | 18.815 | 18.870 | 4636   | 0.71   | 2733   | 1.04    | 1.70     | Cyclohexane, 1-bromo-4-methyl-               |
| 11              | 19.190 | 19.140 | 19.240 | 164353 | 25.08  | 59502  | 22.65   | 2.76     | Dodecane, 2,7,10-trimethyl-                  |
| 12              | 20.698 | 20.665 | 20.725 | 12800  | 1.95   | 5185   | 1.97    | 2.47     | Oxalic acid, cyclohexyl propyl ester         |
| 13              | 21.362 | 21.345 | 21.390 | 3717   | 0.57   | 2772   | 1.06    | 1.34     | Propanoic acid, ethenyl ester                |
| 14              | 21.803 | 21.760 | 21.845 | 25815  | 3.94   | 11036  | 4.20    | 2.34     | Oxalic acid, dioneopentyl ester              |
| 15              | 22.588 | 22.535 | 22.645 | 81569  | 12.45  | 30111  | 11.46   | 2.71     | Dodecane, 2,7,10-trimethyl-                  |
| 16              | 24.604 | 24.570 | 24.655 | 14400  | 2.20   | 6454   | 2.46    | 2.23     | 3-Hexanone, 2,5-dimethyl-                    |
| 17              | 25.829 | 25.790 | 25.875 | 31224  | 4.76   | 12022  | 4.58    | 2.60     | Borane, diethyl(decyloxy)-                   |
| 18              | 28.905 | 28.875 | 28.930 | 6730   | 1.03   | 3239   | 1.23    | 2.08     | Sulfurous acid, isobutyl pentyl ester        |
|                 |        |        |        | 655338 | 100.00 | 262656 | 100.00  |          |  |

### Amostras de Tijolo Com Lodo Fora (ATCF):

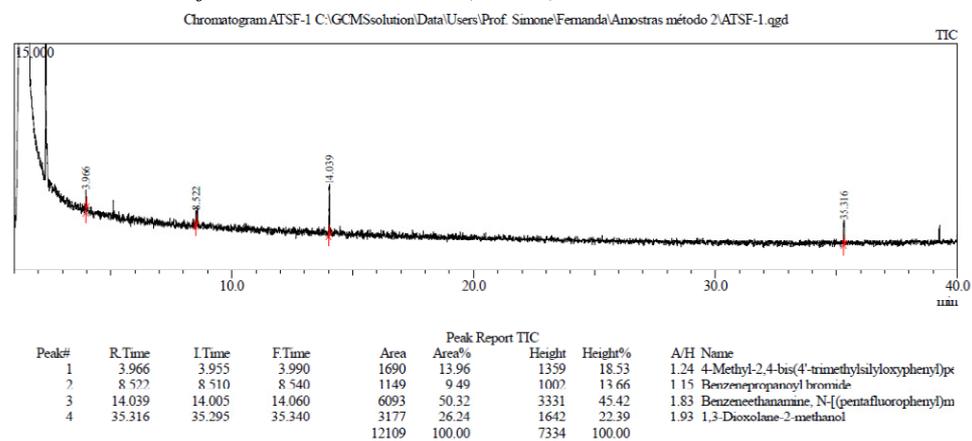


| Peak Report TIC |        |        |        |        |        |        |         |          |  |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|--|
| Peak#           | R Time | I Time | F Time | Area   | Area%  | Height | Height% | A/H Name |  |
| 1               | 2.314  | 2.295  | 2.340  | 9232   | 6.98   | 7336   | 11.52   | 1.26     | 1,5-Hexadiene, 3,3,4,4-tetrafluoro-          |
| 2               | 5.094  | 5.070  | 5.135  | 6350   | 4.80   | 2636   | 4.14    | 2.41     | 1,1-Difluoro-trans-2,3-dimethyl-cyclopropane |
| 3               | 12.021 | 11.990 | 12.060 | 9783   | 7.39   | 4138   | 6.50    | 2.36     | 6-Benzamido-4-benzoyl-1,2,4-triazine-3,5(2H) |
| 4               | 14.050 | 14.015 | 14.085 | 7827   | 5.91   | 4748   | 7.45    | 1.65     | Benzeneethanamine, N-[(pentafluorophenyl)m   |
| 5               | 15.656 | 15.610 | 15.690 | 24705  | 18.67  | 11032  | 17.32   | 2.24     | 3-Hexanone, 2,5-dimethyl-                    |
| 6               | 18.230 | 18.195 | 18.260 | 11484  | 8.68   | 5532   | 8.68    | 2.08     | Sulfurous acid, isobutyl pentyl ester        |
| 7               | 19.187 | 19.150 | 19.230 | 37606  | 28.42  | 15467  | 24.28   | 2.43     | Sulfurous acid, 2-ethylhexyl hexyl ester     |
| 8               | 21.797 | 21.775 | 21.835 | 6625   | 5.01   | 3091   | 4.85    | 2.14     | 2,2-Dimethyl-propyl 2,2-dimethyl-propanesulf |
| 9               | 24.605 | 24.590 | 24.630 | 3414   | 2.58   | 2545   | 4.00    | 1.34     | 2,2-Dimethyl-propyl 2,2-dimethyl-propanesulf |
| 10              | 25.828 | 25.785 | 25.855 | 15305  | 11.57  | 7176   | 11.27   | 2.13     | 3-Hexanone, 2,5-dimethyl-                    |
|                 |        |        |        | 132331 | 100.00 | 63701  | 100.00  |          |  |

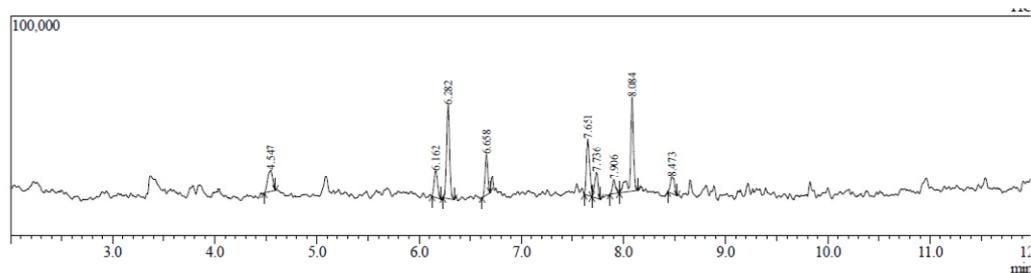
### Amostras de Tijolo Sem Lodo Dentro (ATSD):



### Amostras de Tijolo Sem Lodo Fora (ATSF):



## ANEXO B – Avaliação do teor de benzeno no lodo por GC/MS



Peak Report TIC

| Peak# | R.Time | I.Time | F.Time | Area  | Area% | Height | Height% | A/H  | Mark | Name                       |
|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|---------|------|------|----------------------------|
| 1     | 4.547  | 4.483  | 4.592  | 33452 | 8.53  | 9819   | 5.53    | 3.41 |      | Toluene                    |
| 2     | 6.162  | 6.125  | 6.217  | 29140 | 7.43  | 12315  | 6.93    | 2.37 |      | o-Xylene                   |
| 3     | 6.282  | 6.233  | 6.342  | 86275 | 21.99 | 42465  | 23.91   | 2.03 |      | p-Xylene                   |
| 4     | 6.658  | 6.617  | 6.692  | 34635 | 8.83  | 18416  | 10.37   | 1.88 |      | Benzene, 1,3-dimethyl-     |
| 5     | 7.651  | 7.617  | 7.692  | 57396 | 14.63 | 25731  | 14.49   | 2.23 |      | Benzene, 1-ethyl-3-methyl- |
| 6     | 7.736  | 7.692  | 7.775  | 26591 | 6.78  | 12075  | 6.80    | 2.20 | V    | Mesitylene                 |
| 7     | 7.906  | 7.867  | 7.958  | 13132 | 3.35  | 6487   | 3.65    | 2.02 |      | Benzene, 1,2,3-trimethyl-  |
| 8     | 8.084  | 7.958  | 8.142  | 91272 | 23.27 | 42682  | 24.03   | 2.14 |      | Benzene, 1,2,3-trimethyl-  |
| 9     | 8.473  | 8.433  | 8.525  | 20411 | 5.20  | 7610   | 4.28    | 2.68 |      | Mesitylene                 |

Fonte: CTPPA.