UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS – EESC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – SEP

MARIANA GUARDIA

Proposta de integração de práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de vida nas etapas da Produção mais Limpa

São Carlos
2016

MARIANA GUARDIA

Proposta de integração de práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida nas etapas da Produção mais Limpa

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Área de concentração: Processos e Gestão de Operações

Orientador: Prof. Dr. Aldo Roberto Ometto

São Carlos
2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

G914p

Guardia, Mariana
Proposta de integração de práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de vida nas etapas da Produção mais Limpa / Mariana Guardia; orientador Aldo Roberto Ometto. São Carlos, 2016.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Processos e Gestão de Operações -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2016.

1. Produção mais Limpa. 2. Ciclo de Vida. 3. Integração . I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **MARIANA GUARDIA**.

Título da dissertação: "Proposta de integração de práticas da engenharia e gestão do ciclo de vida nas etapas da produção mais limpa".

Data da defesa: 26/02/2015

Comissão Julgadora:	**Resultado:**
Prof. Dr. **Aldo Roberto Ometto (Orientador)** (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)	APROVADA
Prof. Dr. **Kleber Francisco Espôsto** (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)	Aprovada
Profa. Dra. **Cecília Maria Villas Boas de Almeida** (Universidade Paulista/UNIP)	APROVADA

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção:
Profa. Associada **Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não seria possível sem a ajuda de diversas pessoas que me acompanharam, de perto ou à distância, ao longo desta jornada.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Aldo Roberto Ometto, pelo apoio e pelas oportunidades oferecidas.

Agradeço a todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Produção da Escola de Engenharia de São Calor, em especial ao Prof. Dr. Kleber Francisco Esposto pela colaboração neste e em outros trabalhos.

Agradeço a todos os colegas do departamento, principalmente ao Zé, Rapha e Geandra. Foi um grande prazer conhecê-los e trabalhar com vocês.

Agradeço aos meus pais e meus irmãos por serem quem vocês são e por me tornarem quem eu sou.

Agradeço a todos os amigos que fiz em São Carlos, em especial ao Tiago, por alegrar meus dias todos os dias.

Agradeço a todas as pessoas que acreditam e lutam por um mundo mais justo e sustentável.

Diante da vastidão do tempo e da imensidão do universo, é um imenso prazer para mim dividir um planeta e uma época com vocês.

Agradeço, por fim, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio financeiro essencial para a realização deste projeto.

André Dahmer, *Quadrinhos dos anos 10.*

RESUMO

GUARDIA, M. **Proposta de integração de práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de vida nas etapas da Produção mais Limpa**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

As questões ambientais têm recebido crescente atenção, levando as práticas ambientais a evoluir desde soluções de "fim-de-tubo" até abordagens preventivas, como a Produção mais Limpa (P+L). Nos últimos anos, tem sido observada a adoção de uma postura holística e proativa chamada Visão de Ciclo de Vida (VCV), que é aplicada por meio de práticas da Engenharia e da Gestão do Ciclo de Vida (EGCV). Neste contexto, estratégias ambientais preventivas, como a P+L, devem passar a considerar os impactos ao longo de todo o ciclo de vida para os processos e produtos analisados e melhorias propostas. Este trabalho tem como objetivo contribuir para a inserção da Visão de Ciclo de Vida na P+L por meio da integração de práticas da EGCV às etapas e atividades da P+L. Para atingir este objetivo, dividiu-se o trabalho em três etapas. A primeira etapa, Estado da Arte, consistiu no estudo do estado da arte da Produção mais Limpa, da Engenharia e da Gestão do Ciclo de Vida e da integração entre estes dois temas. Na segunda etapa, Estudo de Caso, foi estudada a integração entre os dois temas na prática, por meio de um estudo de caso em uma empresa referência na adoção da Visão de Ciclo de Vida. A terceira etapa, Integração, consistiu na identificação de oportunidades de integração entre as práticas da EGCV e as etapas da P+L, com base na comparação dos dados e informações de entrada e saída das etapas da P+L e de práticas da EGCV selecionadas. Estas oportunidades são apresentadas na forma de um quadro. Os resultados obtidos reforçam a pertinência e atualidade da questão levantada. Embora diversos trabalhos tenham sido dedicados a esta questão nos últimos anos, ainda se fazem necessários estudos que contribuam de forma prática, fornecendo diretrizes e recomendações. Os resultados da proposta de integração indicam que a adoção das práticas da EGCV nas etapas da P+L pode suprir a lacuna identificada, inserindo da forma sistêmica a Visão de Ciclo de Vida na P+L. Diversas oportunidades de integração de práticas da EGCV ás etapas da P+L puderam ser identificadas, além disso, vinte e uma recomendações para a integração da Visão de Ciclo de Vida na Produção mais Limpa foram elaboradas com base nos resultados das revisões simples e sistemática, na análise dos casos de sucesso de P+L e no estudo de caso realizado.

Palavras-chave: Produção mais Limpa, Ciclo de Vida, Integração

ABSTRACT

GUARDIA, M. **Proposal for the integration of life cycle engineering and management practices with the phases of cleaner production**. MSc Dissertations. São Carlos School of Engineering – University of São Paulo, São Carlos, 2016.

With the intensification of economic activities and resulting impacts, environmental issues are receiving growing attention and environmental practices are evolving from "end-of-pipe" solutions to more preventive approaches such as Cleaner Production (CP). More recently, a paradigm shift is taking place with the adoption of a more holistic and proactive approach towards environmental impacts, where all the impacts throughout the life cycle of products have to be considered resulting in the creation of the so called Life Cycle Thinking (LCT), which is put into practice though Life Cycle Engineering and Management (LCEM) practices. In this new context, environmental improvements in production process have to consider the life cycle impacts of the analyzed processes and proposed improvements. Even though Cleaner Production is often mentioned as a LCEM practice, LCT is not systematically integrated in CP implementation stages. Therefore, the goal of this research is to contribute to the integration of LCT in the CP framework through the integration of LCEM practices in the stages and activities of CP. The first step was to perform an analysis of the CP implementation guides and the selection of a "model guide" to be used. Subsequently, compatible LCEM practices were selected though a literature review and selection criteria. A comparison of the inputs and outputs of both the stages of CP and the selected LCEM practices was performed for the identification of compatibilities and integration opportunities. Based on a systematic review of the literature between the two subjects, a CP success stories analysis and a case study in a company which is benchmark in LCT, recommendations for the integration of LCT in CP were derived. The simple and systematic review of the literature reinforced the pertinence and relevance of the research's question. The results show that the lack of a life cycle perspective in CP is a significant gap both in theory (in the CP implementation guides) and in practice (in the CP success stories) and that, despite the fact that many authors have dedicated to the subject, as shown in the systematic review of the literature, further research is still necessary to help fill this gap. The results of the proposed integration show that the application of LCEM practices in the stages of CP is an efficient way to help fill this gap, systematically integrating LCT in the CP framework. Many opportunities for the integration were identified and twenty-one recommendations were derived from the results.

Keywords: Cleaner Production, Life Cycle, Integration

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura do documento 33

Figura 2 – Estrutura do Método Hipotético-Dedutivo (GIL, 1999) 36

Figura 3 – Estrutura da pesquisa. 37

Figura 4 – Exemplo de apresentação dos casos da CETESB (CETESB, 2014). 41

Figura 5 – Exemplo de apresentação dos casos do governo do Canadá (ENVIRONMENT CANADA, 2014). 42

Figura 6 – Exemplo de apresentação dos casos da Rede Zero Waste dos EUA (ZERO WASTE NETWORK, 2015). 43

Figura 7 – Esquema do Protocolo de RBS utilizado, desenvolvido segundo método de Biolchini et al. (2005). 46

Figura 8 - Atividades do método de estudo de caso. Adaptado de Miguel (2007). 49

Figura 9 – A variação da prioridade ambiental entre a redução da poluição (P+L) e o controle da poluição. Barbieri, 2007 66

Figura 10 – Os três níveis de Produção mais Limpa e suas ações (CNTL, 2003). 66

Figura 11 – A preferência ambiental da postura preventiva (Produção mais Limpa) versus a postura reativa (“fim-de-tubo”). Elaborada pela autora com base nos trabalhos de LaGrega, Buckingham e Evans (1994), Cervelini e Souza (2009), CNTL (2003). 67

Figura 12 – Capa do guia Facility Pollution Prevention Guide (EPA, 1992) 69

Figura 13 – Capa do guia EPA Federal Facility Pollution Prevention Planning Guide (US EPA, 1994) 70

Figura 14 – Capa do guia Cleaner Production – A training resource package (UNEP, 1996) .. 71

Figura 15 – Capa do guia Implementação de um programa de Prevenção à Poluição (CETESB, 2002) 72

Figura 16 – Capa do guia Cinco Fases da Implantação de Técnicas de Produção mais Limpa (SENAI - RS, 2003) 73

Figura 17 – Capa do guia Implementação de Programas de Produção mais Limpa (CNTL, 2003). 75

Figura 18 – Capa do guia Guidance Manual on How to Establish and Operate Cleaner Production Centres (UNEP/UNIDO, 2004) 77

Figura 19 – Capa do guia Guia da Produção mais Limpa – Faça Você Mesmo (CEBDS, 2013) 79

Figura 20 – Capa do guia Cleaner Production Assessment in Dairy Processing (COWI, 2000) 80

Figura 21 - Distribuição dos 84 casos da CETESB ao longo dos anos de 2003 a 2015. 81

Figura 22 – Resultados quantitativos dos motivadores da P+L identificados nos casos de P+L da CETESB estudados. 82

Figura 23 – Resultados quantitativos das medidas de P+L adotadas, identificadas nos casos de P+L da CETESB. 83

Figura 24 - Resultados quantitativos dos motivadores da P+L identificados nos casos de P+L do Canadá estudados. 84

Figura 25 - Resultados quantitativos das medidas de P+L adotadas, identificadas nos casos de P+L do Canadá. 85

Figura 26 – Distribuição dos 537 casos da P2 da Rede Zero Waste ao longo dos anos de 2003 a 2015. 87

Figura 27 – Ocorrência de evidências de visão de ciclo de vida nos casos de P+L dos EUA, por ano. 91

Figura 28 – Distribuição dos 51 trabalhos da amostra final da RBS ao longo dos anos. 94

Figura 29 – O Ciclo de vida de produto e suas alternativas de fim de vida (REMMEN; MÜNSTER, 2003). 109

Figura 30 – Abordagens do “berço ao túmulo” e do “berço ao berço” (LEHTINEN et al., 2011). 111

Figura 31 – O conceito de Economia Circular ilustrado em um diagrama de sistemas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015). 114

Figura 32 – Estrutura da criação de valor da sustentabilidade que relaciona a Gestão do Ciclo de Vida à criação de valor em uma organização (HARBI et al., 2015). 119

Figura 33 – Categorias de ferramentas da ECV de acordo com tipo de feedback e aplicação. Adaptado de Duflou et al. (2003). 123

Figura 34 – Ferramentas baseadas na Avaliação de Ciclo de Vida, classificadas de acordo com sua natureza, custo e etapa do projeto (LEHTINEN et al., 2011). 124

Figura 35 - Métodos, ferramentas e conceitos que podem ser aplicadas à Gestão do Ciclo de Vida (SONNEMANN et al., 2015). 125

Figura 36 – Fases de uma ACV (ABNT, 2009) 131

Figura 37 – Modelo de Planilha de ACV (US EPA, 1995)..... 134

Figura 38 - Exemplo de Planilha de Ferramenta de Visão de Ciclo de Vida (O'HARE et al., 2014). 135

Figura 39 – Exemplo de Planilha de Análise de Efeito Ambiental (AEA) (JENSEN et al., 2000). 136

Figura 40 – As sessões da Planilha de EEA. A parte (1) consiste no cabeçalho, a parte (2) é o inventário, (3) a sessão de avaliação e (4) a sessão de ações (JENSEN et al., 2000)..... 136

Figura 41 – Fluxograma das etapas da aplicação da AAE (LINDAHL; JENSEN; TINGSTRÖM, 2000). 137

Figura 42 – Relação entre o Número de Prioridade Ambiental (EPN), Possibilidade de Melhorias (F) e os tipos de ações propostas (LINDAHL, 2001) 138

Figura 43 – Exemplo de Matriz DfE (YARWOOD; EAGAN, 1998; COBRA, 2012). 140

Figura 44 – Framework de caracterização da Matrix Ecofuncional (LAGERSTEDT, 2003)..... 141

Figura 45 - Exemplo de Matriz Ecofuncional (LAGERSTEDT, 2003; COBRA, 2012) 142

Figura 46 – Iniciativas ambientais desenvolvidas pela empresa nos últimos 40 anos e meta para 2018..... 146

Figura 47 – Estratégia ambiental do grupo. 146

Figura 48 – A gestão ambiental no grupo. 148

Figura 49 – O design leve de veículos e o ponto de equilíbrio do ciclo de vida..... 151

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Problema de pesquisa e hipótese a ser testada com base no método hipotético-dedutivo. 36

Quadro 2 – Tipos de medidas de Produção mais Limpa. Adaptado de LaGrega (1994). 44

Quadro 3 – Definições de Gestão de Ciclo de Vida. Elaborado com base em Sonnemann et al. (2015). 117

Quadro 4 – Departamentos em uma organização e sua relevância para a Gestão do Ciclo de Vida na prática (SONNEMANN et al., 2015; REMMEN; JENSEN; FRYDENDAL, 2007). 120

Quadro 5 – Modelo de Maturidade de Capacidade de Gestão do Ciclo de Vida (MMC GCV) (SWARR et al., 2015). 121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados quantitativos das Oportunidades de P+L identificadas nos casos de P+L dos EUA. 87

Tabela 2 – Resultados quantitativos das Medidas de P+L adotadas nos casos de P+L dos EUA. 88

Tabela 3 - Resultados quantitativos das Oportunidades de P+L identificadas nos casos de P+L dos EUA, por ano. 89

Tabela 4 - Resultados quantitativos das Medidas de P+L adotadas nos casos de P+L dos EUA, por ano. 90

Tabela 5 - Dados quantitativos da primeira etapa de busca da RBS de P+L e EGCV..... 93

Tabela 6 – Dados quantitativos da etapa de filtragem das amostras pelos filtros I, II e III. 94

Tabela 7 – As três principais fontes de trabalhos identificados na amostra final da RBS. 95

Tabela 8 - Ferramentas, métodos, procedimentos e técnicas de P+L adotadas nos trabalhos identificados na RBS. 96

Tabela 9 – Práticas da EGCV adotadas nos trabalhos identificados na RBS. 97

Tabela 10 – Formas de integração das práticas da EGCV na P+L utilizadas nos trabalhos identificados na RBS. 97

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 27

1.1. Contexto e motivação 27

1.2. Objetivos da pesquisa 32

1.3. Estrutura do documento 32

2. MÉTODOS E ESTRUTURA DA PESQUISA 35

2.1. Aspectos metodológicos 35

2.2. Estrutura da pesquisa 37

2.3. Métodos 38

2.3.1. 1ª Etapa – Estado da Arte 38

2.3.1.1. Produção mais Limpa 38

2.3.1.2. Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida 47

2.3.2. 2ª Etapa – Estudo de Caso 48

2.3.3. 3ª Etapa – Integração 51

3. PRODUÇÃO MAIS LIMPA 53

3.1. Teoria 53

3.2. Guias de Produção Mais Limpa 67

3.2.1. Guia modelo 80

3.3. Casos de Produção Mais Limpa 81

3.3.1. Casos apresentados pela CETESB 81

3.3.2. Casos apresentados pelo Governo do Canadá 84

3.3.3. Casos apresentados pela Rede Zero Waste (EUA) 86

3.4. A Produção mais Limpa e a Visão de Ciclo de Vida: uma Revisão Bibliográfica Sistemática 93

3.5. Conclusões parciais e recomendações 99

4. ENGENHARIA E GESTÃO DO CICLO DE VIDA 109

4.1. Visão de ciclo de vida 109

4.2. Gestão do Ciclo de Vida (GCV) 114

4.3. Engenharia do Ciclo de Vida (ECV) 121

4.4. Práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo De Vida 124

4.4.1. Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) (ABNT, 2009) 126

4.4.2. Planilha de ACV (US EPA, 1995) 133

4.4.3. Ferramenta de Visão de Ciclo de Vida (O'HARE et al., 2014) 135

4.4.4. Análise de Efeito Ambiental (AEA) (JENSEN et al., 2000) 135

4.4.5. Matriz DfE (YARWOOD; EAGAN, 1998) 139

4.4.6. Matriz Ecofuncional (LAGERSTEDT, 2003) 141

4.5. Conclusões parciais e recomendações 143

5. ESTUDO DE CASO 145

5.1. Caracterização da empresa estudada 145

5.1.1. Histórico 145

5.1.2. Estratégia corporativa ambiental 145

5.1.3. Gestão ambiental 147

5.1.4. Melhorias ambientais preventivas em processos 148

5.1.5. Adoção da Visão de Ciclo de Vida 149

5.1.6. Engenharia do Ciclo de Vida 150

5.1.7. Avaliação de Ciclo de Vida 150

5.2. Conclusões parciais e recomendações 151

6. INTEGRAÇÃO 155

6.1. Guia modelo de P+L: análise das entradas e saídas 155

6.2. Práticas da EGCV: análise das entradas e saídas 155

6.3. Comparação dos entradas e saídas 156

6.4. As recomendações para a integração 157

6.5. Considerações finais e conclusões 160

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS 163

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 165

APÊNDICE I – Protocolo da RBS: P+L e EGCV 181

APÊNDICE II - Registro dos strings pesquisados na RBS 185

APÊNDICE III – Questionário do Estudo de Caso 187

APÊNDICE IV – Lista completa dos trabalhos que compõe a amostra final da RBS de Produção mais Limpa e Ciclo de Vida. 189

APÊNDICE V – Quadro de entradas e saídas das atividades de Produção mais Limpa. 195

APÊNDICE VI – Práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida: Dados e informações de entrada e saída 199

APÊNDICE VII – Integração das práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida nas Etapas da Produção mais Limpa 203

1. INTRODUÇÃO

Nesta sessão serão discutidos o contexto e motivação da pesquisa (sessão 1.1), seus objetivos gerais e específicos (sessão 1.2) e a estrutura do trabalho apresentado (sessão 1.3).

1.1. Contexto e motivação

Como resultado da globalização e do desenvolvimento industrial, as preocupações acerca do meio ambiente atingiram níveis globais (SEVERO et al., 2014). Para Piketty (2014), as principais preocupações globais a longo prazo são o aquecimento global e a deterioração do capital natural do planeta. Ainda segundo o autor, existe muita controvérsia acerca do tema; alguns trabalhos indicam que os danos ambientais até o final deste século poderão acarretar significativas perdas econômicas, da ordem de dezenas de pontos no Produto Interno Bruto (PIB) mundial por ano, outros consideram estas previsões exageradas.

A falta de consenso sobre o peso futuro destes impactos na economia global leva a diferentes conclusões acerca de quais medidas e quais investimentos devem ser feitos no presente (PIKETTY, 2014). Ainda que existam divergências entre cientistas analisando o tema sob diferentes perspectivas, há um consenso de que o ritmo de consumo dos recursos do planeta não pode ser sustentado e, caso não ocorram mudanças, o sistema enfrentará crises (STANIŠKIS, 2012).

Todas as atividades humanas resultam em impactos ao meio ambiente, porém, as indústrias de manufatura estão entre os maiores contribuidores para estes impactos, principalmente devido ao alto consumo de água e energia, elevada geração de resíduos tóxicos e de gases que contribuem para o efeito estufa (ALLEN et al., 2002). Na busca pela minimização destes impactos, muitos esforços têm sido feitos e as iniciativas ambientais têm evoluído (VAN BERKEL, 2006; LÖFGREN; TILLMAN; RINDE, 2011; KHALILI et al., 2014).

Em um primeiro momento, as nações industrializadas não reconheciam ou até ignoravam a poluição e degradação do meio ambiente resultante das atividades econômicas. A diluição e dispersão dos poluentes foram algumas das primeiras formas encontradas para reduzir e tornar menos evidentes os impactos ao meio ambiente (UNEP/UNIDO, 2004; MARX, 2009).

Nas décadas de 1960 e 1970 surgem novos esforços para a redução dos impactos da manufatura que tratavam principalmente da regulamentação das atividades industriais. Em resposta a estas novas regulamentações, surgem as soluções chamadas de “fim-de-tubo”, que tinham como objetivo o controle da poluição após a sua geração (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005). Um exemplo típico de solução do tipo “fim-de-tubo” é o tratamento de efluentes gerados nos processos produtivos, em uma estação de tratamento (OECD, 2010).

À medida que as indústrias começaram a promover melhorias em seus processos produtivos, começaram também a surgir possibilidades de melhorias ambientais nos processos. Muitas indústrias passaram a buscar novas tecnologias para fechar os circuitos do uso de materiais e facilitar o reuso e a reciclagem (FLORIDA, 1996; BEAMON, 1999).

A Prevenção da Poluição (P2) ou Produção mais Limpa (P+L) também surgiu no contexto das melhorias dos processos produtivos e, ao contrário das práticas[1] de “fim-de-tubo”, apresenta uma postura preventiva. O objetivo passou a ser a redução da geração de resíduos diretamente na fonte e, com isso, reduziu-se também a necessidade de controle e tratamento dos mesmos (FLORIDA, 1996; GUNGOR; GUPTA, 1999).

Desde então, a P+L vem sendo adotada por empresas devido a seus benefícios ambientais e econômicos (SCHALTEGGER et al., 2008) e à ampla divulgação do tema, que é promovido por diversas organizações como a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA), Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (*United Nations Environment Programme*, ou UNEP) e a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), no Brasil, com a publicação de guias de implantação de P+L e casos de sucesso.

Embora a Produção mais Limpa possa ser aplicada a produtos, processos e serviços, sua aplicação é mais comumente associada a melhorias em processos (JESPERSEN; CHRISTIANSEN; HUMMELMOSE, 2000). Desta forma, o presente trabalho buscou estudar a Produção mais Limpa principalmente (mas não exclusivamente) no contexto das melhorias em processos.

---

[1] O termo “práticas”, no contexto do presente trabalho, abrange toda forma de aplicação das teorias estudadas, inclusive ferramentas, métodos, procedimentos e técnicas. Este termo foi adotado como forma de unificar e simplificar a linguagem do texto e baseia-se no trabalho de Jarrar e Zairi (2000), que aborda o tema de “boas práticas”, adotando definição abrangente do termo “práticas”.

Tem sido observada nos últimos anos uma tendência para a adoção de posturas mais proativas e abordagens holísticas por parte das empresas e governos frente às preocupações ambientais (EUROPEAN COMMISSION, 1998; WESTKÄMPER; ALTING; ARNDT, 2000), indo além dos impactos ocasionados durante o processo de manufatura e envolvendo todos os impactos ocasionados ao longo do ciclo de vida dos produtos. A Visão de Ciclo de Vida (em inglês *Life Cycle Thinking*) passou a ser considerada essencial para o desenvolvimento sustentável (REMMEN; JENSEN; FRYDENDAL, 2007; OECD, 2010).

Segundo UNEP (2004), a abordagem de ciclo de vida é uma forma de pensar que nos ajuda a reconhecer como nossas escolhas são parte deste sistema complexo de eventos. A adoção de uma abordagem de ciclo de vida significa que reconhecemos como nossas escolhas influenciam o que acontece em cada uma das etapas do ciclo, para que então possamos balancear os impactos positivos e negativos sobre a economia, meio ambiente e a sociedade (UNEP, 2004). Os principais objetivos da Visão de Ciclo de Vida são reduzir o consumo de recursos e a geração de emissões para o meio ambiente de um produto (REMMEN; JENSEN; FRYDENDAL, 2007).

A partir desta nova visão, onde passa a ser considerado o ciclo de vida dos produtos, novas abordagens para o gerenciamento dos impactos ambientais vêm surgindo. Já existem em alguns países, por exemplo, iniciativas para se responsabilizar os produtores pelos impactos causados por seus produtos ao longo de todo seu ciclo de vida. É o caso da Responsabilidade Estendida do Produtor ou *Extended Producer Responsibility* (OECD, 2013) e a Política Integrada de Produtos ou *Integrated Product Policies* (REMMEN; JENSEN; FRYDENDAL, 2007; EUROPEAN COMMISSION, 1998).

No Brasil, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, instituída em 2010, introduziu o conceito de “Responsabilidade Compartilhada pelo Ciclo de Vida dos Produtos”, na qual são atribuídas responsabilidades aos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, consumidores, serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos visando minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2012).

Cada vez mais a Visão de Ciclo de Vida se mostra uma necessidade e se torna uma exigência, levando as empresas a adotarem estratégias ambientais que levem em consideração todo o

ciclo de vida de seus produtos (REMMEN; MÜNSTER, 2003; REMMEN; JENSEN; FRYDENDAL, 2007). Neste contexto, a gestão ambiental passa da gestão de riscos e prevenção da poluição para a Gestão do Ciclo de Vida (BEAMON, 1999).

A Gestão do Ciclo de Vida (GCV) surge como uma forma de as empresas se organizarem em resposta ao conceito de ciclo de vida ambiental e torna a Visão de Ciclo de Vida e de sustentabilidade do produto operacional para as empresas que buscam a melhoria contínua (LÖFGREN; TILLMAN, 2011; UNEP/SETAC, 2009). Na prática, a GCV consiste na integração de práticas e conceitos para a tomada de decisões sobre os produtos e serviços mais sustentáveis dentro de uma perspectiva de ciclo de vida, além da comunicação de informações de ciclo de vida para os *stakeholders* (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005; WESTKÄMPER; ALTING; ARNDT, 2000).

A aplicação de princípios tecnológicos e científicos no design e manufatura de produtos, com o objetivo de proteger o meio ambiente e conservar recursos em uma perspectiva de ciclo de vida é feita por meio da Engenharia do Ciclo de Vida (ECV), que busca encorajar o progresso econômico, tendo em mente a busca pela sustentabilidade e, ao mesmo tempo, otimizando o ciclo de vida do produto e minimizando a poluição e geração de resíduos (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005; UNEP/UNIDO, 2004).

Diversos autores consideram que a Produção mais Limpa promove melhorias não apenas para os processos, mas para todo o ciclo de vida e a classificam como uma estratégia da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida (REMMEN; MÜNSTER, 2003; REMMEN; JENSEN; FRYDENDAL, 2007; HOFFMAN et al., 1997; HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005). Para Remmen e Münster (2003), a Produção mais Limpa é o primeiro passo para se atingir produtos mais limpos em uma perspectiva de ciclo de vida e, finalmente, a sustentabilidade. Porém, na Produção mais Limpa, a adoção da Visão de Ciclo de Vida está normalmente associada às melhorias em produtos (HOFFMAN et al., 1997). Já nas melhorias preventivas em processos, foco principal da P+L e de seus guias de implantação, a avaliação dos impactos ambientais não abrange de forma sistemática todo o ciclo de vida, sendo normalmente restrita às fronteiras da empresa e impactos diretos de sua operação, tema que será discutido em maior profundidade na sessão 3.2 Guias de Produção Mais Limpa.

Embora possa parecer que uma melhoria ambiental promovida em qualquer etapa do ciclo de um produto representará uma melhoria para o ciclo de vida como um todo, isso nem sempre

será verdade. Uma melhoria ambiental no processo pode, muitas vezes, resultar um efeito negativo ainda mais significativo em outro ponto do ciclo de vida.

Um exemplo de como isso pode acorrer é apresentado por Helu, Vijayaraghavan e Dornfeld (2011). Em seu trabalho, os autores demonstram que pode existir uma relação entre o grau de precisão do processo de manufatura de um produto e os impactos ambientais ocasionados ao longo de todo seu ciclo de vida. Em outras palavras, quanto maior o grau de precisão obtido no processo de manufatura das partes, no caso estudado pelos autores, maiores os impactos ocasionados na fase de manufatura e menores os impactos ocasionados na fase de uso do produto, e vice-versa. A busca pela redução do consumo de energia no processo produtivo poderia, portanto, resultar em uma menor qualidade dos componentes de transmissão (menor precisão) e consequente aumento no consumo de energia na fase de uso, podendo resultar em impactos de magnitude maior.

Isto significa dizer que deve haver um ponto ótimo entre os impactos associados ao processo produtivo (neste caso, energia e recursos consumidos na fabricação de componentes de transmissão para automóveis, para se atingir determinado grau de precisão) e os impactos associados à fase de uso (isto é, energia e recursos consumidos pelo produto, considerando-se o grau de precisão atingido). O caso citado demonstra a existência de *trade-offs* entre os impactos ocasionados nas diferentes fases do ciclo de vida de um produto, deixando clara a necessidade de se considerar o ciclo de vida das melhorias em processos no contexto da Produção mais Limpa.

Embora a Produção mais Limpa resulte em diversos benefícios ambientais e econômicos, ela apresenta uma lacuna por não adotar de forma sistêmica a Visão de Ciclo de Vida na análise de processos e das melhorias em processos. A integração de práticas e recomendações advindas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida nas etapas da Produção mais Limpa pode suprir as lacunas anteriormente mencionadas.

Tornam-se necessários, portanto, estudos que investiguem em profundidade o tema, fornecendo subsídios para esta integração. Assim sendo, justifica-se o presente projeto como sendo um trabalho fundamental que objetiva contribuir para a inserção da Visão de Ciclo de Vida nas etapas da P+L. A questão de pesquisa a ser estudada é: Como a visão de Ciclo de Vida pode ser integrada na Produção mais Limpa? A hipótese defendida é que a visão de ciclo de vida pode ser integrada à Produção mais Limpa por meio da aplicação de práticas e

recomendações da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida nas etapas da P+L, suprindo a lacuna identificada.

1.2. Objetivos da pesquisa

O objetivo desta pesquisa é contribuir para a inserção da Visão de Ciclo de Vida na Produção mais Limpa por meio da aplicação de práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida nas etapas da P+L, fornecendo informações e recomendações que auxiliem pesquisadores, agências e usuários na implantação de um modelo de P+L que considere a Visão de Ciclo de Vida.

Os seguintes objetivos específicos podem ser desdobrados a partir do objetivo principal:

- Analisar a Produção mais Limpa quanto a sua implantação, em particular, quanto aos dados e informações de entrada e saída de suas etapas e atividades.
- Selecionar, com base na literatura sobre o tema e critérios de seleção, e analisar quanto a sua implantação práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida, em particular seus dados e informações de entrada e saída.
- Identificar, a partir da comparação dos entradas e saídas das etapas da P+L e das práticas da EGCV, oportunidades de integração.
- Analisar o estado da arte da inserção da Visão de Ciclo de Vida na teoria, por meio de uma revisão sistemática da literatura, e na prática, por meio da análise de casos de sucesso de P+L e de um estudo de caso em uma empresa referência na adoção da Visão de Ciclo de Vida.
- A partir da análise do estado da arte, elaborar recomendações que possam auxiliar o processo de integração.

1.3. Estrutura do documento

Este relatório está dividido em 8 sessões e 7 apêndices, conforme apresentado na Figura 1.

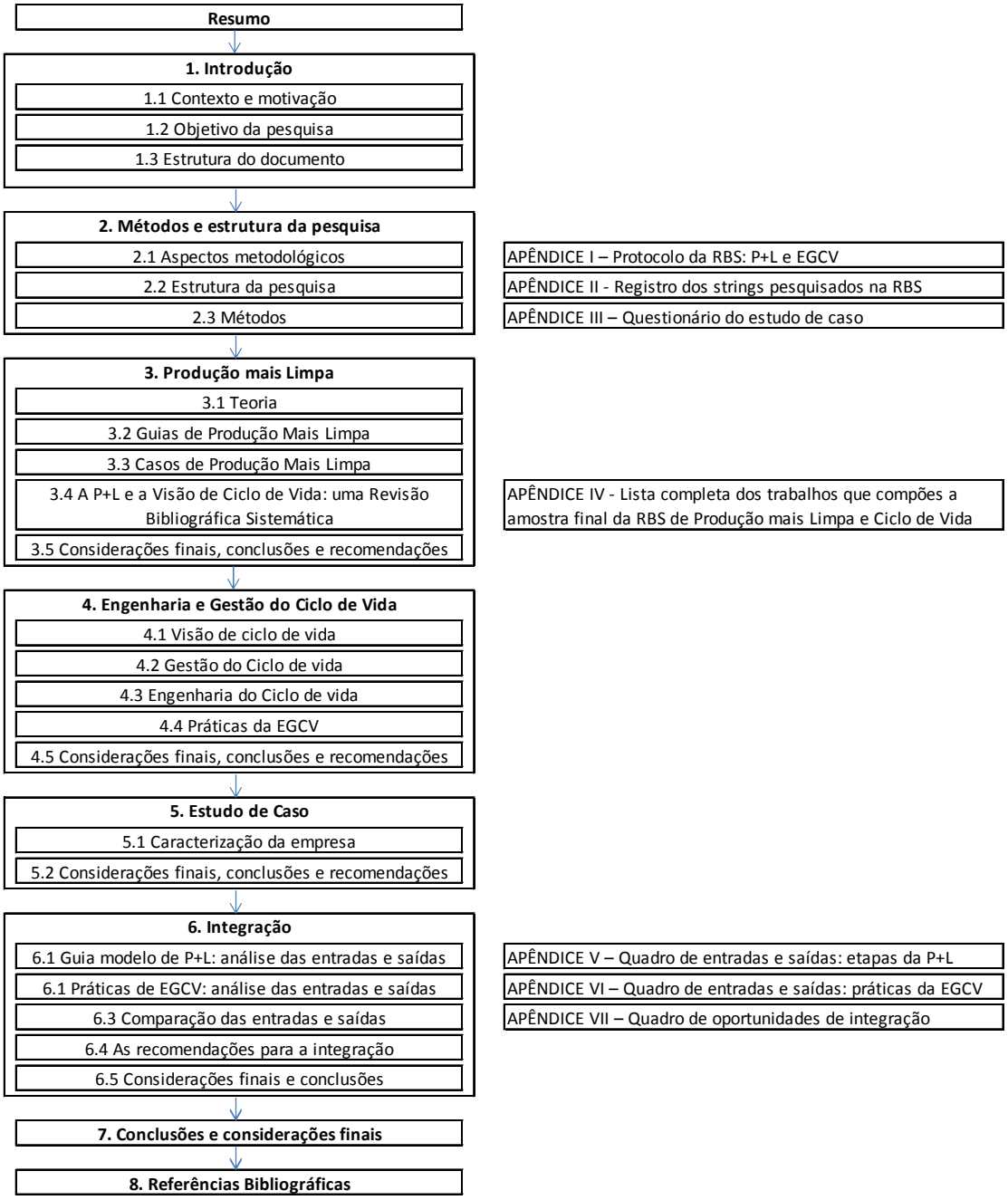


Figura 1 – Estrutura do documento

2. MÉTODOS E ESTRUTURA DA PESQUISA

Nesta sessão são apresentados os aspectos metodológicos da pesquisa (sessão 2.1), sua estrutura e fases (sessão 2.2) e os métodos empregados em cada uma delas (sessão 2.3).

2.1. Aspectos metodológicos

Quanto a sua natureza, esta pesquisa pode ser definida como aplicada (GIL, 1999; TURRIONI; MELLO, 2012), pois tem como objetivo gerar recomendações práticas que poderão ser aplicadas na resolução de problemas específicos.

A pesquisa é definida quanto a sua abordagem como qualitativa, pois as informações obtidas a partir da pesquisa serão analisadas como foco em seus significados e definições, e não dados numéricos (GIL, 1999). Na pesquisa qualitativa considera-se que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito que não pode ser traduzido em números (TURRIONI, MELLO, 2012). Segundo Turrioni e Mello (2012), neste tipo de abordagem a interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas, não sendo essencial o uso de métodos e técnicas estatísticas. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem.

De acordo com Karlsson (2009), existem diversos níveis na evolução do conhecimento. O chamado nível prescritivo caracteriza-se pela prescrição de novos modelos para se explicar e gerenciar um fenômeno ou processo. Neste sentido, a presente pesquisa pode ser classificada como prescritiva, pois propõe a criação de novas recomendações para auxiliar pesquisadores, agências e usuários na implantação da Produção mais Limpa à Visão de Ciclo de Vida.

Gil (1999, p. 8) define método científico como um “conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos adotados para se atingir o conhecimento”. Ainda segundo o autor, existem diversos métodos classificados como científicos e que podem ser divididos em dois grandes grupos: os que proporcionam bases lógicas da investigação e os que esclarecem os procedimentos técnicos que poderão ser utilizados.

Na presente pesquisa, será adotado como base lógica à investigação o método hipotético-dedutivo, que pode ser explicado pela seguinte lógica: “quando os conhecimentos disponíveis sobre determinado assunto são insuficientes para a explicação de um fenômeno, surge o

problema. Para tentar explicar a dificuldades expressas no problema, são formuladas conjecturas ou hipóteses. Das hipóteses formuladas, deduzem-se consequências que deverão ser testadas ou falseadas" (GIL, 1999, p.30).

O método hipotético-dedutivo baseia-se no fato de que, embora nenhuma teoria possa ser provada por um número finito de observações, basta a observação de uma contradição para que a mesma seja falseada (GILL; JOHNSON, 2002). A Figura 2 apresenta a estrutura do método hipotético-dedutivo.

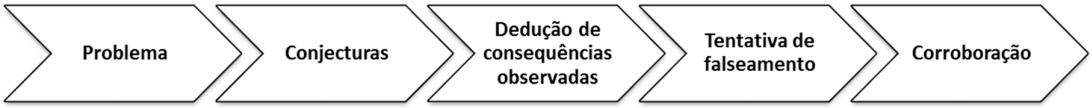


Figura 2 – Estrutura do Método Hipotético-Dedutivo (GIL, 1999)

A hipótese é uma proposição que se faz visando verificar a validade da resposta existente para um problema e é uma suposição que antecede a constatação dos fatos, tendo como característica uma formulação provisória (TURRIONI; MELLO, 2012). A hipótese deve ser testada para verificar a sua validade, conduzindo a uma verificação empírica (TURRIONI; MELLO, 2012).

O problema a ser abordado nesta pesquisa pode ser expresso pela pergunta: "Como a visão de Ciclo de Vida pode ser integrada nas fases da Produção mais Limpa?". Seguindo a lógica do método hipotético-dedutivo, a hipótese a ser testada é que a visão de ciclo de vida pode ser integrada à Produção mais Limpa por meio da aplicação de práticas e recomendações da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida nas etapas da P+L. O Quadro 1 apresenta a base para o método hipotético-dedutivo adotado na presente pesquisa.

Quadro 1 – Problema de pesquisa e hipótese a ser testada com base no método hipotético-dedutivo.

Problema de pesquisa	Como a visão de Ciclo de Vida pode ser integrada nas fases da Produção mais Limpa?
Hipótese a ser testada	A visão de ciclo de vida pode ser integrada à Produção mais Limpa por meio da aplicação de práticas e recomendações da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida nas etapas da P+L

2.2. Estrutura da pesquisa

A presente pesquisa está dividida em três etapas: 1ª Etapa - Estado da Arte; 2ª Etapa – Estudo de Caso e 3ª Etapa – Integração. Na Figura 3 são apresentadas as três etapas e suas atividades, os métodos de pesquisa empregados em cada uma das etapas e os resultados obtidos.

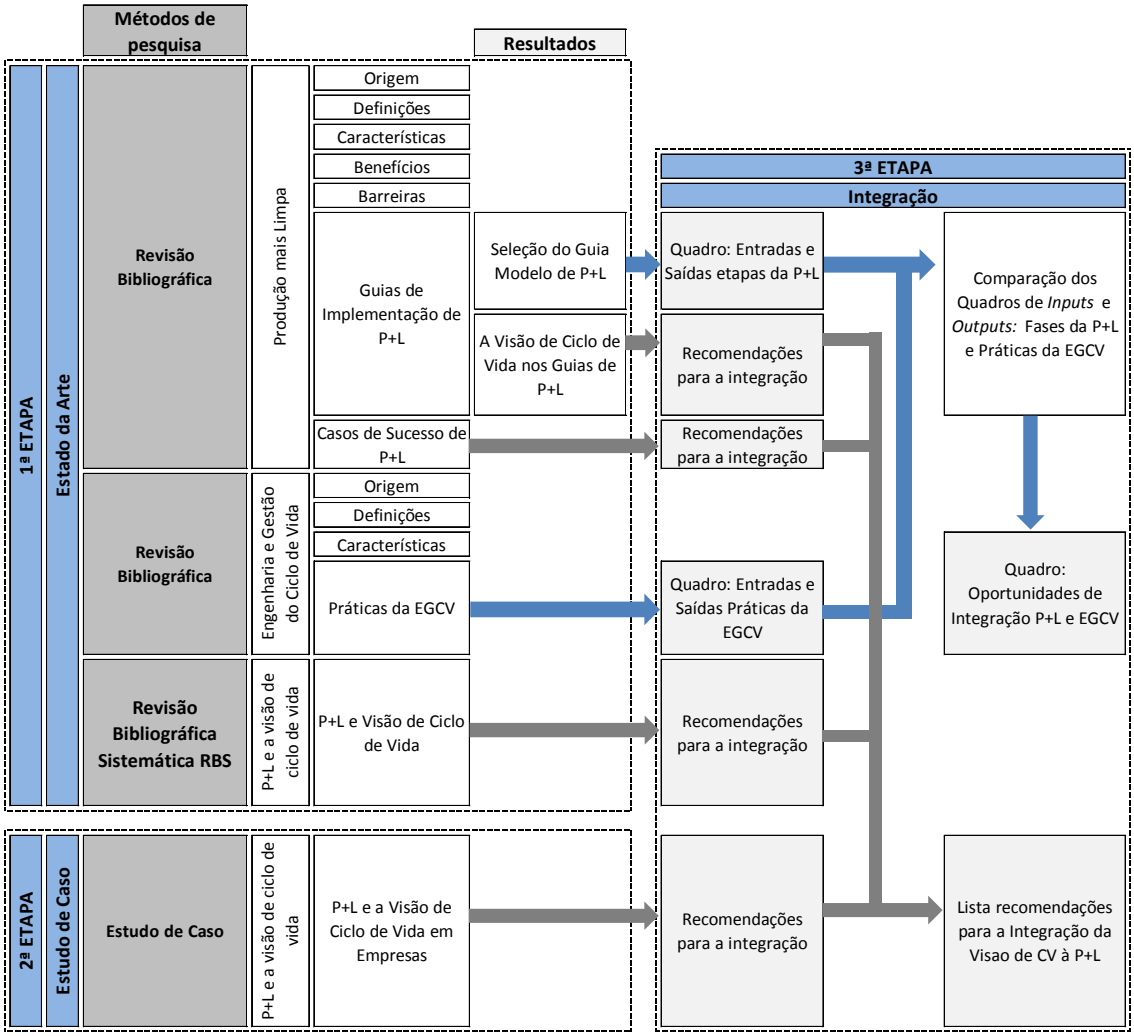


Figura 3 – Estrutura da pesquisa.

A primeira etapa, Estado da Arte, consiste no estudo do estado da arte da Produção mais Limpa, da Engenharia e da Gestão do Ciclo de Vida e da integração entre estes dois temas. Além disso, nesta etapa foram identificados o guia de P+L modelo e as práticas de EGCV, utilizados na etapa de Integração. Com base nos resultados desta etapa, foram também elaboradas recomendações que visam auxiliar o processo de integração da Visão de Ciclo de Vida na P+L. Na segunda etapa, Estudo de Caso, foi estudada a integração entre a Produção

mais Limpa e a Visão de Ciclo de Vida na prática, por meio de um estudo de caso em uma empresa referência na adoção da Visão de Ciclo de Vida, a partir do qual também foram elaboradas recomendações para a integração. A terceira etapa, Integração, consiste na identificação de oportunidades de integração entre as práticas da EGCV e as etapas da P+L, com base na comparação dos dados e informações de entrada e saída da P+L e das práticas da EGCV. Estas oportunidades são apresentadas na forma de um quadro. Além disso, na etapa de Integração, são também apresentadas as recomendações para a integração obtidas a partir dos resultados das etapas anteriores.

2.3. Métodos

Nesta sessão são apresentados os métodos empregados em cada uma das etapas da pesquisa.

2.3.1. 1ª Etapa – Estado da Arte

2.3.1.1. Produção mais Limpa

- **<u>Teoria</u>**

Esta etapa teve início com o estudo aprofundado da Produção mais Limpa por meio de uma revisão da literatura sobre o tema, incluindo aspectos como sua origem, suas definições e diferentes termos, suas características, seus benefícios e suas barreiras.

Para o estudo do contexto da gestão ambiental e seu histórico, foi utilizado o trabalho de Barrow (1999), publicações da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, dentre outras fontes. Foram estudas também publicações de autores e organizações pioneiras no estudo e divulgação da P+L como o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP); a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO); a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA); o *Journal of Cleaner Production* e Agência Europeia do Ambiental (EEA). No contexto brasileiro, foram utilizados documentos de fontes como Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB); Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) e do Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL).

- **<u>Guias de Produção mais Limpa</u>**

O segundo passo foi o estudo dos métodos de implantação da P+L, por meio de uma análise dos principais guias de implantação da P+L disponíveis. Para isso, foram analisados guias das fontes clássicas, de alta relevância para a área de estudo e guias amplamente utilizados.

Dentre as fontes de guias estudados estão o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP); a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO); a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA); o *Journal of Cleaner Production* e Agência Europeia do Ambiental (EEA); a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB); Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) e do Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL).

Todos os guias foram analisados quanto a seu conteúdo incluindo: a definição de Produção mais Limpa apresentada, objetivo, público alvo, data de publicação, etapas da Produção mais Limpa apresentadas e, principalmente, quanto à apresentação e integração da Visão de Ciclo de Vida. Estes resultados foram traduzidos em recomendações usadas para auxiliar o processo de integração da Visão de Ciclo de Vida na Produção mais Limpa.

Nesta etapa feita também a seleção de um guia para usado como modelo no processo de integração proposto nesta pesquisa. O guia foi selecionado com base na análise do conteúdo, optando-se pelo guia mais completo, com maior detalhamento das fases e atividades e das ferramentas propostas para auxiliar os usuários na implantação destas atividades.

- **<u>Casos de sucesso de Produção mais Limpa</u>**

Também com base em uma revisão da literatura, foram analisados casos de sucesso da implantação da P+L visando identificar quais são os fatores que motivam a implantação da P+L, isto é, as “Oportunidades de P+L” identificadas, quais os principais tipos de “Medidas de P+L” adotados e como a Visão de Ciclo de Vida se insere na aplicação prática da P+L.

Para a análise dos casos de Produção mais Limpa foram selecionados os casos de Produção mais Limpa publicados nas seguintes fontes:

- <u>Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB)</u>: foram analisados os 86 casos de Produção mais Limpa disponíveis no site da CETESB

dedicado à Produção e Consumo Sustentáveis (CETESB, 2014), que inclui casos de P+L de empresas brasileiras situadas no estado de São Paulo entre os anos de 2002 a 2012;

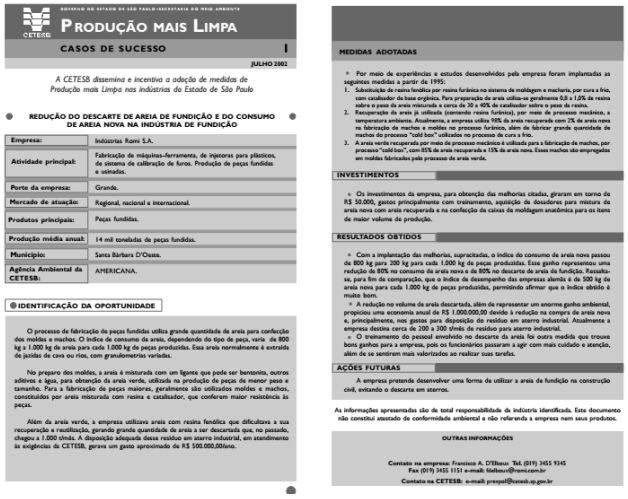
- Governo do Canadá: foram analisados 31 casos disponíveis no site do Governo do Canadá dedicado à Prevenção da Poluição (ENVIRONMENT CANADA, 2014), que inclui casos de companhias situadas no Canadá, entre os anos de 1996 e 2013;
- Rede *Zero Waste* (*Zero Waste Network*): foram analisados 537 casos disponíveis no site da Rede Zero Waste, um projeto colaborativo da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA) e da Universidade do Texas, formado por profissionais da área ambiental dedicados à Prevenção da Poluição (ZERO WASTE NETWORK, 2015). Trata-se de casos de companhias situadas nos Estados Unidos, entre os anos de 2003 a 2015.

O primeiro passo na análise dos casos foi a seleção dos casos disponíveis para acesso integral, uma vez que alguns dos documentos não estavam disponíveis, e dos casos pertinentes, isto é, que tratavam da aplicação da Produção mais Limpa em empresas (sendo excluídos, por exemplo, casos de aplicação em órgãos públicos). O resultado foi uma amostra final de 84 casos da CETESB, 17 casos do Canadá e 532 dos EUA.

Para os casos apresentados pela CETESB, as informações são apresentadas no formato de documentos PDF (como no exemplo da Figura 4) de duas folhas onde são disponibilizados os seguintes tópicos:

- Data de publicação;
- Título do projeto;
- Empresa/Entidade;
- Atividade principal;
- Porte da empresa;
- Mercado/Área de atuação;
- Produtos/Serviços principais;
- Produção média anual;
- Município;
- Agência da CETESB;
- Identificação da oportunidade;

- Medidas adotadas;
- Investimento;
- Resultados obtidos;
- Ações futuras;
- Informações para contato com a empresa/entidade.



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO/SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE

CETESB

PRODUÇÃO MAIS LIMPA

CASOS DE SUCESSO I

JULHO 2002

A CETESB disseminou e incentiva a adoção de medidas de Produção mais Limpa nas indústrias do Estado de São Paulo

REDUÇÃO DO DESCARTE DE AREIA DE FUNDIÇÃO E DO CONSUMO DE AREIA NOVA NA INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO

Empresa:	Indústrias Romi S.A.
Atividade principal:	Fabricação de máquinas-ferramenta, de injetoras para plásticos, de sistema de calibração de furos. Produção de peças fundidas e usinadas.
Porte da empresa:	Grande.
Mercado de atuação:	Regional, nacional e internacional.
Produtos principais:	Peças fundidas.
Produção média anual:	14 mil toneladas de peças fundidas.
Município:	Santa Bárbara D'Oeste.
Agência Ambiental da CETESB:	AMERICANA.

IDENTIFICAÇÃO DA OPORTUNIDADE

O processo de fabricação de peças fundidas utiliza grande quantidade de areia para confecção dos moldes e machos. O índice de consumo de areia, dependendo do tipo de peça, varia de 800 kg a 1.000 kg de areia para cada 1.000 kg de peças produzidas. Essa areia normalmente é extraída de jazidas de cava ou rios, com granulometrias variadas.

No preparo dos moldes, a areia é misturada com um ligante que pode ser bentonita, outros aditivos e água, para obtenção da areia verde, utilizada na produção de peças de menor peso e tamanho. Para a fabricação de peças maiores, geralmente são utilizados moldes e machos, constituídos por areia misturada com resina e catalisador, que conferem maior resistência às peças.

Além da areia verde, a empresa utilizava areia com resina fenólica que dificultava a sua recuperação e reutilização, gerando grande quantidade de areia a ser descartada que, no passado, chegou a 1.000 t/mês. A disposição adequada desse resíduo em aterro industrial, em atendimento às exigências da CETESB, gerava um gasto aproximado de R$ 500.000,00/ano.

MEDIDAS ADOTADAS

Por meio de experiências e estudos desenvolvidos pela empresa foram implantadas as seguintes medidas a partir de 1995:

1. Substituição de resina fenólica por resina furânica no sistema de moldagem e macharia, por cura a frio, com catalisador de base orgânica. Para preparação da areia utiliza-se geralmente 0,8 a 1,0% de resina sobre o peso da areia misturada e cerca de 30 a 40% de catalisador sobre o peso da resina.
2. Recuperação da areia já utilizada (contendo resina furânica), por meio de processo mecânico, a temperatura ambiente. Atualmente, a empresa utiliza 95% da areia recuperada com 2% de areia nova na fabricação de machos e moldes no processo furânico, além de fabricar grande quantidade de machos do processo "cold box" utilizados no processo de cura a frio.
3. A areia verde recuperada por meio de processo mecânico é utilizada para a fabricação de machos, por processo "cold box", com 85% de areia recuperada e 15% de areia nova. Esses machos são empregados em moldes fabricados pelo processo de areia verde.

INVESTIMENTOS

Os investimentos da empresa, para obtenção das melhorias citadas, giraram em torno de R$ 50.000, gastos principalmente com treinamento, aquisição de dosadoras para mistura de areia nova com areia recuperada e na confecção de caixas de moldagem anaeróbica para os itens de maior volume de produção.

RESULTADOS OBTIDOS

Com a implantação das melhorias, supracitadas, o índice do consumo de areia nova passou de 800 kg para 200 kg para cada 1.000 kg de peças produzidas. Esse ganho representou uma redução de 80% no consumo de areia nova e de 80% no descarte de areia de fundição. Ressalta-se, para fim de comparação, que o índice de desempenho das empresas alemãs é de 500 kg de areia nova para cada 1.000 kg de peças produzidas, permitindo afirmar que o índice obtido é muito bom.

A redução no volume de areia descartada, além de representar um enorme ganho ambiental, propiciou uma economia anual de R$ 1.000.000,00 devido à redução na compra de areia nova e, principalmente, nos gastos para disposição do resíduo em aterro industrial. Atualmente a empresa destina cerca de 200 a 300 t/mês de resíduo para aterro industrial.

O treinamento do pessoal envolvido no descarte da areia foi outra medida que trouxe bons ganhos para a empresa, pois os funcionários passaram a agir com mais cuidado e atenção, além de se sentirem mais valorizados ao realizar suas tarefas.

AÇÕES FUTURAS

A empresa pretende desenvolver uma forma de utilizar a areia de fundição na construção civil, evitando o descarte em aterros.

As informações apresentadas são de total responsabilidade da indústria identificada. Este documento não constitui atestado de conformidade ambiental e não referenda a empresa nem seus produtos.

OUTRAS INFORMAÇÕES

Contato na empresa: Francisco A. D'Elboux Tel. (019) 3455 9345
Fax (019) 3455 1151 e-mail: fdelboux@romi.com.br
Contato na CETESB: e-mail: prepol@cetesb.sp.gov.br

Figura 4 – Exemplo de apresentação dos casos da CETESB (CETESB, 2014).

Todas as informações disponíveis foram analisadas, com ênfase nas informações sobre a "Identificação das Oportunidades", onde são apresentados os fatores que levaram a empresa a adotar a P+L e nas "Medidas Adotadas", onde são apresentadas de forma resumida quais foram as medidas de Produção mais Limpa adotadas pela empresa.

Para os casos do Canadá, as informações são apresentadas no formato de websites (como no exemplo da Figura 5) onde são disponibilizados os seguintes tópicos:

- Nome da empresa;
- Breve introdução;
- Descrição;
- Benefícios;
    - Ambientais;
    - Econômicos;
    - Sociais;
- Prêmios e reconhecimentos;

- Informações para contato;
- Data de submissão.

Figura 5 – Exemplo de apresentação dos casos do governo do Canadá (ENVIRONMENT CANADA, 2014).

Foram analisadas todas as informações disponíveis, com ênfase nos tópicos “Descrição” e “Benefícios”, onde são descritos os fatores que levaram a companhia a buscar medidas de Prevenção da Poluição, quais foram as medidas adotadas e quais foram os benefícios atingidos.

Os casos da Rede Zero Waste são apresentados na forma de websites (como no exemplo da Figura 6) onde são apresentadas a seguintes informações:

- Nome da companhia;
- Ano de submissão do caso;
- Processo ao qual o caso se refere;
- Tipo de atividade da companhia;
- Localização;
- Número de funcionários;
- Contato;
- Descrição do caso;
- Aplicação de Prevenção da Poluição;
- Economia atingida (financeira);

- Comentários;
- Detalhamento da economia (ambiental) atingida;
- Informações adicionais.

Figura 6 – Exemplo de apresentação dos casos da Rede Zero Waste dos EUA (ZERO WASTE NETWORK, 2015).

Foram analisadas todas as informações com ênfase na “Descrição do caso” e “Aplicação de Prevenção da Poluição”.

Para a classificação das “Oportunidades de P+L”, foram elaboradas dezesseis categorias com base nos casos estudados, conforme apresentado a seguir:

1. Redução do risco para a saúde;
2. Redução da emissão de gases de depleção da camada de ozônio;
3. Melhoria da qualidade do produto;
4. Redução do consumo de recursos naturais;
5. Redução do consumo de energia do produto final;
6. Redução da geração de odor;
7. Redução da emissão de gás de efeito estufa;
8. Redução da emissão de poluentes gasosos;
9. Redução do consumo de matérias primas;
10. Redução do consumo de energia;
11. Redução da geração de efluentes;

12. Redução do consumo de insumos;
13. Redução do consumo de água;
14. Redução da geração de resíduos;
15. Melhoria da imagem da empresa;
16. Vantagem competitiva.

É importante destacar que estas categorias foram elaboradas com base na amostra disponível (84 casos da CETESB, 17 casos do Canadá e 532 dos EUA) e foram criados apenas para descrever esta amostra, não podendo ser expandidos para o contexto global da P+L. Para cada um dos casos foram identificadas as Oportunidades de P+L citadas pelas companhias, podendo haver mais de uma por caso, e em seguida eles foram agrupados e quantificados.

As "Medidas Adotadas" foram classificadas quanto a seu tipo segundo a definição de LaGrega (1994), apresentada na Quadro 2. É importante destacar que, para cada caso, mais de um tipo de medida diferente pode ter sido adotado.

Quadro 2 – Tipos de medidas de Produção mais Limpa. Adaptado de LaGrega (1994).

Produção mais Limpa	Redução na Fonte	Mudanças no produto		Medidas preferíveis
		Controle na fonte	Mudanças nos insumos	
			Mudanças tecnológicas	
			Boas práticas de operação	
	Reciclagem interna e externa	Recuperação e reuso		
		Regeneração e reuso		

Além das medidas listadas por LaGrega, foi necessária a adição de mais uma categoria "Tratamento e disposição", pois alguns dos casos fizeram a aplicação deste tipo de medida.

As medidas de "Mudanças no produto" são mudanças nas características do produto, como mudanças no design, substituição de matérias-primas ou alterações na embalagem. As "Mudanças nos insumos" referem-se às mudanças nos insumos utilizados no processo produtivo da companhia, como produtos para limpeza das partes ou produtos para lubrificação de máquinas. As "Boas práticas de operação" consistem em mudanças nos procedimentos, com pouca ou nenhuma mudança nos equipamentos e insumos utilizados, como por exemplo, práticas de gestão de processos, segregação de efluentes, entre outras. A "Recuperação e reuso" é a reciclagem de materiais sem que haja a necessidade de nenhum

tipo de tratamento, isto é, aplicação direta do resíduo como matéria-prima ou insumo para o mesmo processo ou outro. Já a “Regeneração e reuso” consiste na reciclagem mediante tratamento prévio do resíduo. As medidas de “Tratamento e disposição são as medidas que não atuam de forma preventiva na geração de um resíduo, mas sim em seu tratamento para viabilizar sua disposição.

Os resultados da análise dos casos de Produção mais Limpa foram traduzidos em recomendações que usadas para auxiliar o processo de integração proposto no trabalho.

- **Produção mais Limpa e a Visão de Ciclo de Vida**

Também como parte da primeira etapa, foi estudado o estado da arte da integração entre a Produção mais Limpa e a Visão de Ciclo de Vida, por meio de uma Revisão Bibliográfica Sistemática que analisou a interseção entre os dois temas, visando identificar estudos que tenham abordado a integração entre a Produção mais Limpa (ou formas análogas de melhorias ambientais preventivas) e a visão de ciclo de vida, na forma de práticas de Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida.

A Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) é um método específico de pesquisa que tem como objetivo reunir e avaliar evidências acerca de um determinado tópico. Ao contrário de uma revisão bibliográfica simples, a RBS é realizada de forma sistemática, isto é, seguindo passos bem definidos em um protocolo. Isso garante a reprodutibilidade da pesquisa, umas das vantagens ao se optar por uma RBS (BIOLCHINI et al., 2005). Outra vantagem da RBS é seu foco em um tópico de estudo sistematicamente definido por meio de uma questão bem focada e estruturada, o que torna a RBS um método bastante interessante quando se busca respostas para perguntas bastante específicas, por exemplo, quando queremos identificar trabalhos na interseção entre dois temas distintos, que é o caso desta pesquisa (BIOLCHINI et al., 2005).

O método para a execução da RBS adotado nesta pesquisa é o apresentado por Biolchini et al. (2005) e compreende as fases de: Planejamento, Execução e Análise dos Resultados. A etapa de planejamento consiste na elaboração do protocolo da RBS – um documento no qual são definidos os principais parâmetros da RBS como formulação do problema, bases de dados, forma de análise dos resultados, entre outras. A Figura 7 apresenta o esquema do Protocolo elaborado segundo o método de Biolchini et al. (2005).

A etapa de execução consiste na execução da RBS em si, seguindo os critérios e parâmetros estabelecidos no protocolo. Nesta etapa, a primeira amostra de estudos a serem avaliados é obtida, filtrada e classificada segundo parâmetros previamente estabelecidos no protocolo. A etapa de análise consiste na extração de informações relevantes da amostra final de estudos obtidos, de forma a responder à questão proposta para a RBS.

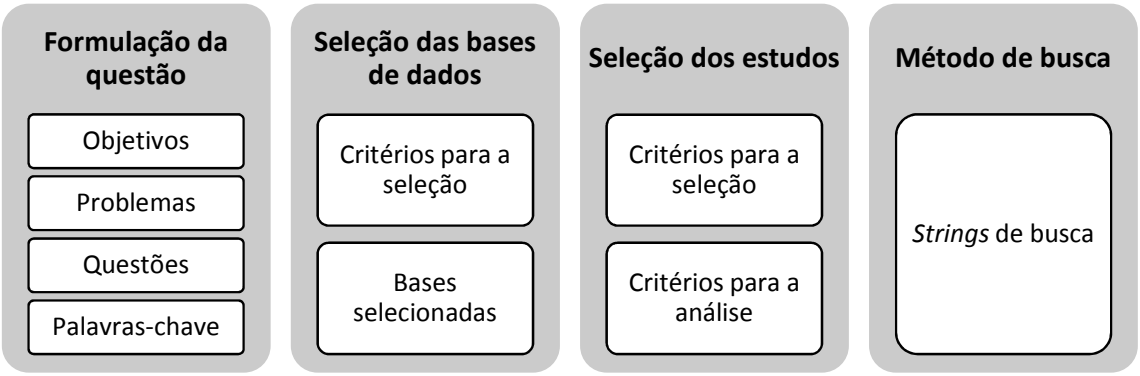


Figura 7 – Esquema do Protocolo de RBS utilizado, desenvolvido segundo método de Biolchini et al. (2005).

O objetivo desta RBS é identificar se existem e quais são os estudos que, assim como o presente trabalho, buscaram integrar práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida à Produção mais Limpa (ou formas análogas de melhorias ambientais preventivas, com foco nas melhorias em processos).

O problema a ser abordado nesta RBS é a falta de integração sistêmica da visão de ciclo de vida na Produção mais Limpa. As questões de pesquisa da RBS visam contribuir para a solução deste problema, identificando se:

- Existem estudos que abordem a utilização de práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida juntamente com Produção mais Limpa, ou formas análogas de melhorias preventivas em processos?
- Quais são as práticas da EGCV que vem sendo adotadas juntamente com a P+L?
- De que forma e em quais etapas as práticas de EGCV vêm sendo aplicadas na P+L?

Conforme apresentado anteriormente, este trabalho tem foco principal (mas não exclusivo) a aplicação da Produção mais Limpa em processos. Portanto, buscou-se com esta RBS

principalmente trabalhos que aplicassem a Visão de Ciclo de Vida nas melhorias preventivas em processos.

O Protocolo da RBS apresenta de forma detalhada os procedimentos adotados na RBS, bem como as bases de dados utilizadas, os termos pesquisados (palavras-chave e *strings* de busca), além dos critérios de análise dos resultados obtidos (BIOLCHINI et al., 2005). O protocolo de pesquisa adotado nesta RBS encontra-se no APÊNDICE I – Protocolo da RBS: P+L e EGCV e o registro dos *strings* de busca utilizados na Revisão Bibliográfica Sistemática encontram-se no APÊNDICE II - Registro dos strings pesquisados na RBS.

Os resultados da RBS foram traduzidos em recomendações usadas para auxiliar o processo de integração proposto no trabalho.

2.3.1.2. Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida

Também na primeira etapa, foi realizado um estudo aprofundado da Engenharia e da Gestão do Ciclo de Vida com base em uma revisão da literatura sobre o tema. Foram estudados os temas Visão de Ciclo de Vida, Gestão do Ciclo de Vida e Engenharia do Ciclo de Vida, incluindo tópicos como sua origem, definições e características.

Para isso, foram estudados documentos de fontes importantes para a área, como Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental (SETAC), Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), Organização Internacional para Padronização (ISO), Academia Internacional de Engenharia de Produção (CIRP), entre outras.

Em seguida, foi realizado também com base em uma revisão da literatura, um levantamento de práticas da EGCV que possam ser complementares às atividades da P+L. Para isso, foram selecionadas práticas que atendessem aos seguintes critérios:

- Possibilidade de aplicação no contexto das melhorias ambientais preventivas em processos;
- Disponibilidade de diretrizes para sua implantação, na forma de guias com os passos ou atividades necessárias para a aplicação da prática.

Também foi utilizado neste levantamento, os trabalhos de Pigosso (2008; 2012), que identificou métodos e ferramentas do Ecodesign por meio de uma revisão sistemática da literatura, com foco no desenvolvimento de produtos e de Cobra (2012), que elaborou

roteiros de aplicação para métodos e ferramentas do Ecodesign. Ambos os trabalhos, por tratarem do Ecodesign, são voltadas para o desenvolvimento de produtos, porém, muitas das ferramentas e métodos apresentados apresentam potencial para serem aplicadas à P+L e estão totalmente inseridos em um contexto de ciclo de vida.

Como será mostrado na sessão 4 ENGENHARIA E GESTÃO DO CICLO DE VIDA, trata-se de um tema muito amplo, que envolve uma grande quantidade de práticas. Além disso, o tema está em pleno desenvolvimento, com o surgimento constante de novas aplicações. O objetivo deste trabalho não é, portanto, a identificação de todas as práticas da EGCV que possam ser integradas à P+L, mas sim de uma pequena quantidade delas, visando cumprir os objetivos do trabalho e fornecer subsídios para que pesquisadores e usuários da Produção mais Limpa possam futuramente aplicar o mesmo método.

2.3.2. 2ª Etapa – Estudo de Caso

A segunda etapa da pesquisa consiste em um estudo de caso, que está entre os principais métodos de pesquisa utilizados atualmente na Engenharia de Produção e Gestão de Operações, utilizado especialmente no desenvolvimento de novas teorias (MIGUEL, 2007; VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002).

Este método pode ajudar o pesquisador a responder perguntas sobre um conjunto de acontecimentos sobre o qual ele não tem controle, como a descrição de uma organização, um incidente ou um fenômeno. O estudo de caso busca entender um fenômeno dentro de seu contexto, por meio de observações diretas, entrevistas (estruturadas ou não) e acesso a documentos (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002).

Yin (2001, p. 32) define estudo de caso como “uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos”. Diversos fatores podem influenciar a escolha do estudo de caso como método de pesquisa. Segundo Turrioni e Mello (2012), questões de pesquisa do tipo “como” e “por que” estimulam o uso da estratégia de estudo de caso. Este método pode ser usado para diferentes propósitos de pesquisa, tais como exploração, construção de teoria, teste de teoria e refinamento/extensão de teoria (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002).

Alguns dos benefícios deste método são possibilidade do desenvolvimento de novas teorias e a contribuição para o entendimento sobre eventos reais e contemporâneos (MIGUEL, 2007). Porém, este método apresenta também algumas dificuldades, como a elevada demanda de tempo, sucesso vinculado à habilidade dos entrevistadores e dificuldades em se obter generalizações a partir dos resultados (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002).

O presente estudo de caso tem como objetivo identificar como ocorre, na prática, a integração entre a Visão de Ciclo de Vida e a Produção mais Limpa, identificando quais são os métodos, ferramentas, procedimentos ou técnicas empregados nesta atividade, visando contribuir com a proposta de integração a ser elaborada na presente pesquisa.

As etapas propostas para a realização de um estudo de caso podem variar de acordo com o autor, mas, em geral, baseiam-se em três partes básicas: planejamento, execução, análise e conclusão. Na presente pesquisa, as etapas do estudo foram estabelecidas com base no trabalho de Miguel (2007), conforme apresentado na Figura 8.

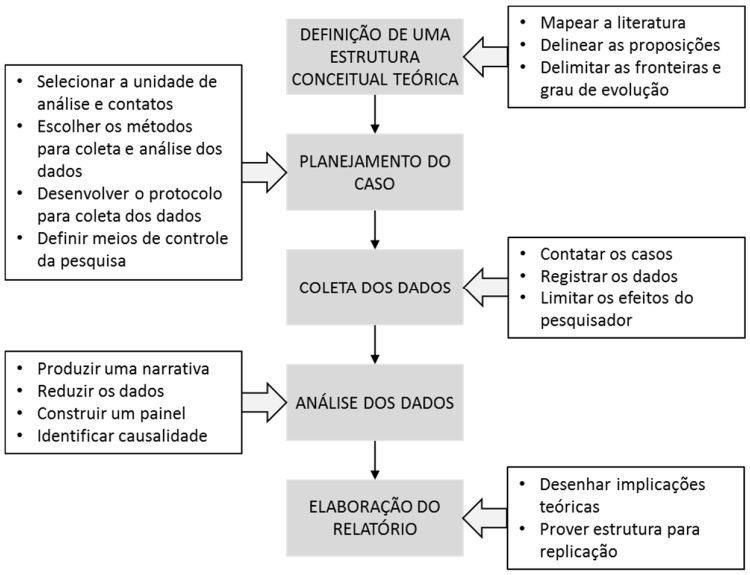


Figura 8 - Atividades do método de estudo de caso. Adaptado de Miguel (2007).

- <u>Definição da estrutura conceitual</u>

O primeiro passo na elaboração do estudo de caso é a definição da estrutura conceitual, que começa com o levantamento do referencial teórico. A teoria que embasa o presente estudo

de caso está presente nas seções 3 PRODUÇÃO MAIS LIMPA e 4 ENGENHARIA E GESTÃO DO CICLO DE VIDA.

A partir do referencial teórico estudado, podem ser identificadas as lacunas e questões que justificam a realização do estudo de caso. A questão de pesquisa a ser respondida neste estudo de caso é: “Como as empresas que praticam a Produção mais Limpa (ou alguma forma análoga de melhoria preventiva em processos) consideram a Visão do Ciclo de Vida neste processo? ”.

- Planejamento do caso

Para o planejamento do caso, o primeiro passo foi a definição dos critérios para seleção da unidade de análise, isto é, da empresa a ser estudada. Os seguintes critérios foram definidos:

- Adoção da Produção mais Limpa ou de qualquer forma análoga de melhorias preventivas em processos;
- Adoção da Visão de Ciclo de Vida por meio da aplicação de práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida;
- Disponibilidade em participar do estudo.

Um estudo de caso pode ser realizado com base em um caso único ou múltiplos casos (TURRIONI; MELLO, 2012). Para Yin (2001), os resultados de casos múltiplos são mais convincentes e o resultado global é visto como mais robusto. Quatro empresas que satisfaziam os dois primeiros critérios foram contatadas, porém apenas uma delas estava disponível para participar do estudo dentro do prazo necessário. Embora o estudo de múltiplos casos seja mais robusto, a presente pesquisa baseou-se em um único caso, devido à indisponibilidade das demais empresas contatadas.

Os estudos de caso podem basear-se em diversos métodos de coleta de dados, como documentos de arquivo, entrevistas, questionários e observações. As evidências podem ser qualitativas (palavras), quantitativas (números) ou ambas (TURRIONI; MELLO, 2012). Esta é uma das características que diferencia o estudo de caso de outros métodos: sua capacidade de lidar como uma ampla variedade de evidências (TURRIONI; MELLO, 2012).

Neste caso, optou-se pela adoção de múltiplas fontes de dados que incluem um questionário, apresentado no APÊNDICE III – Questionário do Estudo de Caso, e análise documental de documentos públicos da empresa, como relatórios ambientais.

A proposição feita é de que as empresas inserem a Visão de Ciclo de Vida na Produção mais Limpa por meio do emprego de métodos, ferramentas, procedimentos ou técnicas provenientes ou desenvolvidas a partir das práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida. A unidade de análise será a empresa estudada.

- Coleta e análise dos dados

A coleta de dados consistiu no envio do questionário para a empresa, que o retornou respondido. Em seguida, foram coletados e lidos os documentos da empresa para que fossem extraídas as informações relevantes ao estudo de caso. Todas as informações obtidas foram analisadas buscando-se responder à questão de pesquisa do estudo de caso.

- Elaboração do relatório

Após a coleta dos dados, foi gerada uma narrativa compilando todas as informações obtidas e o resultado final do estudo, que será usado para gerar recomendações para o processo de integração proposto no trabalho.

2.3.3. 3ª Etapa – Integração

Na terceira etapa foi abordada a integração entre a Produção mais Limpa e a Visão de Ciclo de Vida com base nos resultados das etapas anteriores.

Esta etapa teve início com o estudo detalhado da implantação da Produção mais Limpa, com foco em suas etapas e atividades, para identificação de seus dados e informações de entrada e saída, isto é, os dados e informações necessários para dar início a uma atividade da P+L e os dados e informações obtidos ao final desta atividade. Para isso, baseou-se no guia modelo de P+L identificado na 1ª Etapa – Estado da Arte. Estas informações foram então organizadas na forma de um quadro. Foi também identificado, para cada entrada e saída, sua natureza qualitativa ou quantitativa.

O segundo passo foi a análise da implantação das práticas da EGCV selecionadas, com foco em seus dados e informações de entrada e saída, seguida pela análise da natureza qualitativa ou quantitativa destas entradas e saídas. Estas informações foram então organizadas em um quadro.

O próximo passo foi a identificação de oportunidades de integração entre as práticas da EGCV identificadas e as atividades da P+L com base na comparação dos quadros de entradas e saídas

da P+L e das práticas da EGCV. Para isso, foram comparados diretamente os entradas e saídas de cada atividade da Produção mais Limpa com os das práticas de Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida, a fim de se encontrar semelhanças entre eles, inclusive em termos de sua natureza quali ou quantitativa. Desta forma, foi possível a identificação de oportunidades de se integrar as práticas da EGCV em uma ou mais atividades da P+L, contribuindo assim para a inserção da Visão de Ciclo de Vida.

O resultado é um quadro de oportunidades de integração, onde são apresentadas as práticas de Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida que podem ser utilizadas em cada etapa da Produção mais Limpa, inserindo a Visão de Ciclo de Vida no contexto das melhorias preventivas em processos.

As recomendações para a integração, extraídas a partir dos resultados das etapas de análise dos Guias e Casos de P+L, da RBS de P+L e Ciclo de Vida e do Estudo de Caso foram compilados em uma lista única de recomendações, apresentadas também nesta sessão.

3. PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Nesta sessão são apresentados a revisão da literatura referente ao tema Produção mais Limpa no tópico 3.1 Teoria, bem como os resultados da 1ª Etapa – Estado da Arte incluindo os tópicos 3.2 Guias de Produção Mais Limpa, 3.3 Casos de Produção Mais Limpa e 3.4 A Produção mais Limpa e a Visão de Ciclo de Vida: uma Revisão Bibliográfica Sistemática. Por fim, são apresentas as conclusões parciais do capítulo.

3.1. Teoria

- **Origem**

Desde os primórdios o homem vem desenvolvendo estratégias para usufruir da natureza, acumulando conhecimentos para garantir a manutenção dos recursos naturais essenciais para sua sobrevivência. Muitas sociedades pré-modernas criavam tabus, superstições e regras comuns para regular o uso de recursos e com isso, conseguiram se desenvolver de forma relativamente "sustentável" por longos períodos (BARROW, 1999).

Embora muitos acreditem que as comunidades pré-modernas viviam em total harmonia com a natureza, muitos indícios apontam que isso é um mito – mesmo em comunidades pequenas e usando apenas fogo e armas rudimentares, os homens foram capazes de causar grandes mudanças na vegetação de continentes inteiros e até mesmo a extinção de animais. Existem diversos exemplos de sociedades antigas que sucumbiram à escassez de recursos, como resultado de seu uso inadvertido (DIAMOND, 2005).

Estas comunidades, porém, viviam dispersas em grupos pequenos, eram altamente adaptáveis e possuíam uma alta mobilidade, em contraste com a civilização moderna. À medida que a devastação afetava sua sobrevivência, eram capazes de se deslocar e se adaptar a novas realidades, o que nos dias de hoje não seria possível. Desta forma, o planejamento para a sustentabilidade mostra-se essencial à nossa sobrevivência. Para Finkbeiner (2011), embora o conceito de sustentabilidade já seja bem compreendido e aceito por todos, ainda existem dificuldades para se aplicar este conceito na forma de ações concretas.

Nos anos de 1750, acreditava-se que o bem-estar humano seria melhorado por meio do trabalho, tecnologia e desenvolvimento, usando os recursos naturais que deveriam ser explorados e dominados (BARROW, 1999). Esta foi a mentalidade que imperou durante o período da revolução industrial, entre os séculos 18 e 19, levando ao surgimento de cidades sujas e superlotadas, campo danificado, perda de bens comuns, doenças e miséria, especialmente na Europa e América do Norte. Neste mesmo período, diversos intelectuais começaram a questionar o capitalismo, a modernização da agricultura e o crescimento industrial, defendendo uma relação menos prejudicial entre homem e meio ambiente (BARROW, 1999).

Nas nações mais ricas, já existiam na década de 1930 profissionais preocupados com o controle da poluição, conservação da agricultura e pesca. Segundo Barrow (1999), antes da década de 1940, poucas pessoas apresentavam algum tipo de preocupação ambiental. Nos anos 1950, alguns grupos e ONGs começaram a exercer alguma pressão ambiental. Porém, com a ocorrência da Segunda Guerra Mundial, entre os anos de 1939 e 1945, as preocupações ambientais foram colocadas em um segundo plano.

No período que sucedeu a 2ª Guerra Mundial os esforços, preocupações e recursos foram concentrados na reconstrução econômica e industrial, aumento da produção agrícola e aumento do poder militar dos países envolvidos. As preocupações ambientais eram muitas vezes vistas como um “luxo” que países pobres não poderiam ter, ou até mesmo como uma conspiração dos países ricos para impedir o desenvolvimento das nações mais pobres.

Os problemas ambientais resultando das atividades de desenvolvimento só começaram a se tornar uma preocupação a partir dos anos 1960 (KHALILI et al., 2014), marcados por um certo “otimismo ambiental” e medidas ambientais paliativas, que consistiam na simples diluição e dispersão de poluentes (KAZMIERCZYK; OSUNA; SCHWAGER-QUIJANO, 2002).

Antes de 1970 poucos cidadãos conheciam as palavras "meio ambiente" ou "ecologia" e os problemas ambientais raramente eram importantes questões políticas e econômicas. Porém, com os danos ambientais cada vez mais evidentes, a necessidades de uma gestão ambiental tornou-se inegável. Barrow (1999) cita diversos fatores que teriam motivado esta mudança de perspectiva: aumento dos níveis de poluição; perda da biodiversidade; declínio das populações de peixes; degradação do solo; desmatamento; a noção, em parte devido à

exploração espacial, de que o mundo e seus recursos são finitos; preocupação com as taxas de crescimento da população humana e a preocupação com a ameaça de uma guerra nuclear.

Com o surgimento e intensificação das regulamentações ambientais nas décadas de 1960 e 1970, em respostas a esta mudança de perspectiva, começam a surgir as chamadas soluções "fim-de-tubo", que tinham como objetivo o controle da poluição após a sua geração (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005). Este tipo de solução, embora eficiente no controle da poluição, acarretava elevados custos (BARROW, 1999).

Até a década de 1970, poucos e modestos esforços foram feitos para se integrar a exploração dos recursos e o desenvolvimento econômico – o foco era principalmente a listagem dos problemas e a emissão de advertências (BARROW, 1999). A consolidação do conceito de desenvolvimento sustentável evoluiu entre os anos de 1972 e 1992 através de uma série de conferências e iniciativas internacionais (DREXHAGE; MURPHY, 2012).

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano ("*The United Nations Conference on the Human Environment*"), realizada em Estocolmo, em 1972, foi a primeira grande reunião internacional para discutir a sustentabilidade em escala global e resultou, dentre outras coisas, na criação do Programa Ambiental da ONU (*United Nations Environmental Programme,* UNEP), bem como a criação de diversas agências nacionais de proteção ambiental. As recomendações da conferência foram detalhadas e divulgadas no documento de 1980 "Estratégia Mundial para a Conservação" (IUCN; UNEP; WWF, 1980).

Neste mesmo período, com tema "meio ambiente" em alta, as discussões favoreceram o surgimento, em 1975 da iniciativa da 3M *Pollution Prevention Pays* (3P), uma das primeiras abordagens ambientais proativas (3M, 2014), que deram origem à Produção mais Limpa.

No final dos anos 80, começou a ficar cada vez mais claro na Europa e Estados Unidos, que as medidas de fim-de-tubo estavam atingindo seu limite em termos de redução da poluição. Estas medidas deixavam as tecnologias de produção inalteradas, enquanto adicionavam filtros e outros meios para controlar a poluição. As oportunidades para se interferir e melhorar os processos produtivos estavam se tornando cada vez mais evidentes (ASHFORD, 2002). Segundo Rebitzer (2015), até a década de 1990 as práticas de gestão ambiental nas empresas estavam voltadas para operações internas, redução de custos, cumprimento de requisitos legais e abordagens de gestão de riscos, mas isso começava a mudar.

Em 1987, o Relatório Brundtland “Nosso Futuro Comum” (BRUNDTLAND, 1987) colocou o desenvolvimento sustentável na agenda política mundial e tornou-se um marco na história da conservação ambiental. O objetivo do comitê coordenado pelo então primeiro ministro da Noruega, Gro Harlen Brundtland, era produzir um relatório que apresentasse as condições do meio ambiente. Uma das definições mais amplamente utilizadas do termo “desenvolvimento sustentável” é apresentada: "Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades" (BRUNDTLAND, 1987).

Em 1989, foi fundado pelo UNEP o Programa de Produção Mais Limpa, que tratou de estabelecer e definir o termo “Produção Mais Limpa” e ressaltou a importância de uma gestão eficaz, bem como a necessidade de melhoria constante no desempenho. As atividades do programa têm sido focadas em promover a liderança e encorajar parcerias para promover o conceito de Produção Mais Limpa em escala mundial, fornecer informações, capacitação e assistência técnica e promover novas estratégias de P+L (KAZMIERCZYK, 2002). Desde então, o UNEP tem se esforçado para prover liderança e encorajar parcerias para promover o conceito de Produção Mais Limpa em escala mundial.

Em 1990, com a aprovação pelo congresso americano da Lei de Prevenção da Poluição (*Pollution Prevention Act*) e em 1996, na Europa, com a promulgação pela União Europeia da Diretiva de Controle e Prevenção da Poluição, a preferência por medias de prevenção sobre medidas de controle da poluição ficou clara (ASHFORD, 2002). Neste mesmo período, esforços similares começaram a surgir na Europa, como por exemplo, o projeto suíço Landskrona e o projeto holandês PRISMA, ambos focados na aplicação da Produção mais Limpa (KAZMIERCZYK, 2002). Teve início, neste período, uma mudança intelectual, passando da questão “o que fazer com a poluição?” para “porque a poluição é gerada?”. Segundo Kazmierczyk (2002), esta mudança foi a base para o desenvolvimento da P2/P+L.

O lançamento da Agenda 21 em 1992 também foi um marco para o desenvolvimento sustentável, apresentando um plano de ação para o resto do século e uma estrutura para lidar com as questões ambientais e de desenvolvimento, além de fomentar o surgimento de diversas iniciativas locais e regionais de desenvolvimento sustentável. Este documento reconhece a Produção mais Limpa como uma prática preferível, que pode auxiliar na busca pelo desenvolvimento sustentável. A década seguinte à Conferência das Nações Unidas Rio-

92 foi uma década de experimentação e consolidação da Produção mais Limpa, conceitos de Eco-eficiência e práticas industriais (VAN BERKEL, 2006).

A Revista de Produção mais Limpa (*Journal of Cleaner Production*) foi fundada em 1993, com foco principalmente nas oportunidades e necessidades de reduções na fonte. De acordo com Ashford (2002), a década seguinte à criação da revista foi uma época turbulenta e criativa para as ciências, tecnologias e regulações ambientais, o que se refletiu na revista. Além do aumento no número de publicações, de 4 a 6 anuais, a ênfase da revista foi expandida para incluir temas como ecologia industrial avaliação de ciclo de vida e desenvolvimento sustentável. Além disso, o autor reforça a abrangência global da revista.

Em 1994, a UNIDO e o UNEP iniciam o Programa de Centros Nacionais de P+L, que garantem prestação de assistência técnica industrial, fornecimento de conhecimento ambiental, formação, informação e análise política estratégica (KAZMIERCZYK, 2002). A UNIDO e o UNEP estão envolvidos em promover a P+L, colaborando para o estabelecimento dos Centros Nacionais de Produção mais Limpa (CNP+L) (VAN BERKEL, 2011). No Brasil, o Centro Nacional de Produção mais Limpa foi criado em 1999 e é representado pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas, ligado ao SENAI-RS (SEVERO et al., 2014; CNTL, 2003).

Em 1998, o UNEP preparou a Declaração Internacional de Produção Mais Limpa, uma declaração pública voluntária de compromisso com a estratégia e prática da P+L, com 67 signatários inaugurais. As metas da Declaração são incentivar o apoio para a adoção de atividades de Produção Mais Limpa, intensificar o compromisso dos diversos atores envolvidos, promover a cooperação internacional e espalhar a consciência do conceito.

Em 2009, UNIDO e UNEP lançaram um programa conjunto chamado Eficiência de Recursos e Produção mais Limpa (*Resource Efficiency and Cleaner Production*, RECP), uma abordagem voltada para empresas com o objetivo de melhorar o uso de recursos, reduzindo a poluição e contribuindo para o desenvolvimento industrial sustentável (STANIKIS et al., 2012).

- **<u>Conceitos e Termos</u>**

Existem diversos termos utilizados para se referir às melhorias ambientais preventivas em processos produtivos. Dois dos mais usados termos são Produção mais Limpa (P+L) e Prevenção da Poluição (P2), que frequentemente são utilizados como sinônimos.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA ou US EPA) define a Prevenção da Poluição como prevenção ou redução de resíduos onde eles se originam, isto é, na fonte. Isso inclui práticas que conservem os recursos naturais, reduzindo ou eliminando os poluentes através de uma maior eficiência no uso de matérias-primas, energia, água e terra.

A P+L é uma estratégia ambiental de melhoria contínua, realizada por meio de balanços de massa e de energia, para avaliar processos. A partir destes balanços, são identificadas oportunidades de melhoria que levam em conta aspectos técnicos, ambientais e econômicos. A P+L deve fazer parte de qualquer sistema de gestão ambiental compreensivo (STANIŠKIS; ARBAČIAUSKAS, 2013). Além disso, são definidos indicadores para monitoramento destas melhorias (UNEP/UNIDO, 2004).

Uma das definições de P+L mais amplamente utilizadas é fornecida pelo UNEP (1996):

> *Produção mais Limpa é a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva integrada aos processos, produtos e serviços para aumentar a eco-eficiência e reduzir os riscos ao homem e ao meio ambiente*

Embora ambos os termos, Prevenção da Poluição e Produção mais Limpa tratem do mesmo tema, isto é, a redução da poluição na fonte, algumas diferenças podem ser apontadas (SILVA et al., 2013):

- A P+L enfatiza a mudança em uma ampla gama de elementos de gestão ambiental, enquanto que o termo P2 é usado principalmente para descrever melhorias ambientais resultantes especificamente de mudanças tecnológicas (HILSON, 2003);
- A P+L vai além da P2 uma vez que abrange processos produtivos e gerenciais, bem como os aspectos humanos e organizacionais da gestão ambiental, buscando incluir todo o ciclo de vida do produto (US EPA, 1998);
- A P+L é aplicável não apenas aos processos produtivos, mas também a produtos e serviços (KAZMIERCZYK; OSUNA; SCHWAGER-QUIJANO, 2002);

Um dos principais aspectos de diferenciação entre a P+L e a P2 é a questão geográfica: o termo P2 (ou *Pollution Prevention*) é geralmente utilizado na América do Norte, enquanto que P+L é o termo preferido em outras partes do mundo, inclusive no Brasil (ASHFORD, 2002).

No presente trabalho, adotou-se o uso do termo “Produção mais Limpa” ou P+L, por ser o termo mais usual no Brasil e por ser, conforme apresentado por Silva et al. (2013), o termo

mais abrangente. Porém, para fins de revisão de literatura, foi considerado o termo “Prevenção da Poluição” como sinônimo, não sendo feita distinção entre os dois.

Muitos conceitos como eco-eficiência, redução de resíduos e prevenção da poluição possuem ênfase na eliminação e/ou redução de desperdícios e/ou poluição na fonte, como a P+L. Porém, a P+L compreende um procedimento bem desenvolvido para a avaliação sistemática das causas da poluição/resíduos e o desenvolvimento de opções práticas para a solução concreta destes problemas (STANIŠKIS; ARBAČIAUSKAS, 2013).

As estratégias ambientais preventivas vêm ganhando reconhecimento desde sua introdução. Segundo Khalili et al., (2014), o papel da P+L no desenvolvimento sustentável nas sociedades modernas vem sendo discutido ao longo das duas últimas décadas. Em termos conceituais, a prevenção é preferível sobre as outras alternativas, tais como dispersão, controle e reciclagem. Na prática, o benefício ambiental de estratégias menos “preferíveis” pode ser maior, em alguns casos, dependendo da eficiência e efetividade da solução em questão (VAN BERKEL, 2006).

- **Implantação da P+L**

A aplicação da Produção mais Limpa, também chamada de Análise de Produção mais Limpa (*Cleaner Production Assessment*, CPA), consiste em colocar em prática os conceitos da prevenção em processos por meio de um modelo de implantação de P+L estruturado. Um modelo bastante utilizado, apresentado por diversos materiais e que será adotado na presente pesquisa, consiste em dividir a implantação da P+L em cinco fases:

1. Planejamento e Organização;
2. Pré-avaliação;
3. Avaliação;
4. Estudo de Viabilidade;
5. Implantação;

A etapa de Planejamento e Organização, consiste na obtenção do comprometimento da alta direção e estabelecimento de uma equipe do projeto (também chamada “Ecotime”). Fatores como a abrangência da P+L, barreiras e soluções também são identificados.

O planejamento da P+L é necessário para garantir o comprometimento da gerência e consiste em um método sistemático para se identificar opções voltadas para a eficiência no uso de

recursos e redução na geração de resíduos. O processo garante a consistência dos objetivos e atividades da P+L com o processo mais amplo de planejamento da empresa e de análise de investimentos e de tomada de decisões. Nesta etapa ocorre também a definição do time envolvido no projeto (STANIŠKIS; ARBAČIAUSKAS, 2013).

Na Pré-avaliação é elaborado o fluxograma do processo, são avaliadas as entradas e saídas e é selecionado o foco da avaliação da P+L. Já na etapa de Avaliação, é elaborado um balanço de massa e de energia e é conduzida a avaliação da P+L. Nesta etapa são geradas e selecionadas as "opções" de P+L. A fase de avaliação consiste em uma análise do processo produtivo, como foco nas correntes de entradas e saída. Esta análise envolve a identificação das fontes seguida por um diagnóstico das causas e geração de opções. Para a identificação das fontes, um inventário dos fluxos de entrada e saída do processo deve ser elaborado, incluindo seus custos associados. O resultado é um diagrama dos fluxos do processo, que permite identificar as fontes de desperdício e geração de resíduos (STANIŠKIS; ARBAČIAUSKAS, 2013).

O próximo passo é a identificação do diagnóstico das causas, baseado no balanço de massa e energia, que investiga quais são os fatores que contribuem para o volume e composição dos desperdícios e resíduos. Também se faz necessária a avaliação da importância relativa de cada um dos fluxos de resíduos (STANIŠKIS; ARBAČIAUSKAS, 2013).

Na prática, as opções de P+L podem ser identificadas encontrando-se a causa raiz dos problemas ambientais. Isso pode ser feito respondendo-se uma série de perguntas como:

- O que causou o desperdício?
- Por que o desperdício existe?
- Onde o desperdício começou ou se originou?
- O que acontece antes que se iniciem as perdas?
- Porque o desperdício é tolerado?

A partir destas questões, um diagrama de causa-efeito ou Diagrama de Ishikawa pode ser elaborado, auxiliando assim a identificação da causa raiz (STANIŠKIS; ARBAČIAUSKAS, 2013).

O Estudo de Viabilidade envolve avaliações técnicas, econômicas e ambientais. É feita a uma avaliação preliminar, avaliação técnica, avaliação econômica e avaliação ambiental e, por fim, são selecionadas as opções a serem implementadas. As análises de viabilidade têm como

objetivo demonstrar se cada uma das alternativas elaboradas é viável técnica e economicamente, e se as alternativas contribuem efetivamente para a melhoria ambienta do processo. O nível de detalhamento das análises de viabilidade deve ser adequado ao grau de natureza da inovação proposta, uma vez que estas podem variar desde mudanças operacionais simples até o desenvolvimento de novas tecnologias (STANIŠKIS; ARBAČIAUSKAS, 2013).

A análise da viabilidade técnica consiste de duas partes: primeiro, deve ser avaliado se a alternativa pode ser colocada em prática (isto é, disponibilidade e confiança dos equipamentos, impactos na qualidade do produto e na produtividade, requisitos de manutenção e utilidades e necessidades específicas de capacitação e supervisão) e, em segundo, as mudanças nas especificações técnicas podem ser convertidas em um balanço de materiais hipotético, indicando os novos fluxos de entrada e saída do processo após a implantação da nova alternativa (STANIŠKIS; ARBAČIAUSKAS, 2013).

A análise econômica consiste em, pelo menos, a coleta de dados (investimentos, custos operacionais e também benefícios), determinação de um critério de análise (por exemplo, tempo de retorno, valor presente líquido ou taxa interna de retorno) e cálculos de viabilidade. É importante que se leve em conta os impactos econômicos das alternativas no longo prazo e, para isso, é sugerida a aplicação dos princípios da Análise de Custo Total, especialmente quando as alternativas implicarem em custos elevados. É sugerido também que todos os custos ambientais (e impactos) sejam rastreados até o produto responsável sempre que possível, e não atribuído a custos e impactos gerais (STANIŠKIS; ARBAČIAUSKAS, 2013).

Na análise dos impactos ambientais, devem ser observados todos os impactos positivos e negativos ao ambiente. Deve-se estar atento a soluções que reduzem um impacto mas podem criar ou agravar outro impacto de maior relevância. Para ser abrangente, a análise da viabilidade ambiental deve considerar todo o ciclo de vida do produto. Alguns passos são propostos para auxiliar neste processo (STANIŠKIS; ARBAČIAUSKAS, 2013):

- Análise das mudanças nas quantidade e toxicidades dos resíduos e emissões em todos os estágios de seu ciclo de vida;
- Análise das mudanças no consumo de energia ao longo do ciclo de vida;
- Análise do potencial da alternativa em transferir os impactos de um ponto para outro do ciclo de vida;

- Análise das mudanças nas características dos fluxos de resíduos (reusabilidade, degradabilidade, entre outras);
- Análise da utilização de materiais renováveis;
- Análise da utilização de energia de fontes renováveis.

As alternativas de P+L identificadas podem ser agrupadas em diversas categorias de acordo com o requisito de recursos para sua implantação e benefícios esperados, como por exemplo (STANIŠKIS; ARBAČIAUSKAS, 2013):

- Alternativas de custo baixo;
- Tempo de retorno de menos de 1 ano;
- Investimentos de longo-prazo.

Medidas devem ser tomadas para garantir que a P+L continue em andamento, como o monitoramento e avaliação das medidas implantadas. Uma medida que pode auxiliar no andamento da P+L é a determinação de indicadores de desempenho para se avaliar as medidas implantadas (STANIŠKIS; ARBAČIAUSKAS, 2013).

As melhores formas de se atingir a produção mais limpa são (STANIŠKIS, 2011):

- Mudança de atitudes: encontrar novas abordagens para a relação entre as indústrias e o meio ambiente, repensando processos e produtos de um ponto de vista preventivo;
- Aplicação de *know-how*: melhorar a eficiência, adotando melhores práticas de gestão, mudando práticas de *housekeeping*, revisando políticas e procedimentos quando necessário;
- Melhoria de tecnologias: por exemplo, o redesign de produtos ou mudanças nas tecnologias de produção.

A etapa de Implantação envolve a preparação de um plano de implantação, implantação das opções, monitoramento e manutenção das atividades de P+L (CEBDS, 2013; UNEP/UNIDO, 2004; UNEP, 1996; US EPA, 2001; SENAI – RS, 2003).

- **<u>Benefícios</u>**

Um dos grandes motivadores da P+L, além da redução dos impactos ao meio ambiente, está nos custos associados aos resíduos. Todos os resíduos gerados resultam em custos, pois foram

comprados a preço de matéria-prima e consumiram insumos como água e energia. Uma vez gerados, continuam a gerar custos, seja devido a seu tratamento e armazenamento, seja sob a forma de penalidades financeiras pelo descumprimento de regulamentações, ou ainda pelos danos à imagem e à reputação da empresa (CEBDS, 2013). Segundo STANIŠKIS e ARBAČIAUSKAS (2013), a P+L leva à melhora do desempenho ambiental, redução de custos e redução de riscos aos seres humanos e ao meio ambiente.

A P+L também abriu a porta para sistemas de gestão ambiental mais formais e investimentos estratégicos através de uma variedade de funções de negócios, levando a uma maior produtividade, receita e quota de mercado. A P+L se tornou a mais amplamente adotada de várias práticas de gestão ambiental e tem havido muitas pesquisas e evidências de uma correlação positiva entre a P+L e o melhor desempenho das empresas (KHALILI et al., 2014).

- **Barreiras**

Iraldo, Testa e Frey (2009) consideram que a P+L está sendo difundida de forma relativamente lenta, apesar dos bons resultados atingidos. As empresas muitas vezes têm uma falta de informações explícitas sobre suas atividades, em particular, informações quantitativas sobre seus processos produtivos. As informações existentes não são, muitas vezes, sistematizadas de forma adequadas para auxiliar na tomada de decisões. Os principais motivos para isso são a falta de informação e qualificação a respeito da metodologia de Produção mais Limpa e obstáculos (especialmente financeiros) para a implantação da P+L (STANIŠKIS; ARBAČIAUSKAS, 2013).

Segundo STANIŠKIS e ARBAČIAUSKAS (2013), as empresas não estão efetivamente conscientes dos impactos ambientais de suas atividades e tendem a subestimar seus impactos. Sem informações sobre estes impactos e a ineficiência produtiva associada (como por exemplo, desperdício de energia e recursos naturais) as empresas não estão motivadas ou dispostas a tomar decisões que podem levar a melhora de seu desempenho ambiental. Muitas vezes, as decisões são tomadas apenas quando as empresas não possuem alternativa ou não podem mais adiá-las.

Ainda segundo os autores, os tomadores de decisões tendem a optar por soluções simplistas para os problemas pois não analisam suas causas. Por exemplo, quando novas exigências legais são impostas, os tomadores de decisões tendem a optar pela solução mais simples, mas

não necessariamente mais eficiente e economicamente viável (STANIŠKIS; ARBAČIAUSKAS, 2013).

Além disso, projetos de Produção mais Limpa economicamente viáveis podem ser descartados pois a consideração dos custos ambientais é feita de forma incompleta. Isso pode contribuir para a atitude cética das empresas em relação aos benefícios da P+L. Muitas empresas ainda acreditam que as atividades relativas ao meio ambiente representam custos que não resultam em benefícios adicionais (STANIŠKIS; ARBAČIAUSKAS, 2013).

- **Medidas de P+L**

Segundo UNEP (1996) as melhorias propostas pela P+L envolvem quaisquer tipos de melhorias preventivas voltadas para o processo produtivo, podendo abranger melhorias em:

- Insumos (exemplo: lubrificantes, fluido de resfriamento, lâmpadas, etc.);
- Matérias-primas (exemplo: substituição de matérias primas sem alterar características gerais e funcionalidade do produto);
- Fonte de energia (exemplo: fonte de energia para aquecimento, resfriamento, iluminação, funcionamento de máquinas, ventilação, etc.);
- Equipamentos/tecnologias (exemplo: troca de equipamentos por outro que execute a mesma função, aquisição de nova tecnologia, etc.);
- Processos gerenciais e de procedimentos (exemplo: *housekeeping*, operações de manutenção, gestão de resíduos e efluentes, programação da produção, gestão de pessoas com treinamentos e incentivos, gestão dos custos da poluição, mudança no layout, automação, mudanças nas configurações de máquinas ou equipamentos como fluxos, temperatura, pressão, tempo de residência.

Segundo Fresner (1998), muitas abordagens podem ser utilizadas para se atingir os objetivos da P+L, dentre as quais se podem citar: *housekeeping* de materiais e energia; treinamento de funcionários; melhorias na logística; melhorias na disponibilidade de dados e na comunicação entre os departamentos; substituição de matérias-primas por outras menos nocivas, que possam ser usadas de forma mais eficiente ou pode ser recicladas internamente ou externamente; modificações de produtos para eliminar as etapas de produção com grande impacto ambiental; modificações para minimizar resíduos e emissões; reciclagem interna e a introdução de resíduos em redes de reciclagem externas.

Staniškis et al., (2010) citam algumas das principais práticas da Produção mais Limpa:

- *Housekeeping*: medidas preventivas, gerenciais e operacionais, com o objetivo de evitar vazamentos (como programas de manutenção preventiva e inspeções frequentes de equipamentos) e para fazer cumprir as instruções de trabalho existentes (através de uma supervisão adequada, treinamentos, entre outros);
- Substituição de insumos: substituição dos insumos por outros menos tóxicos, por materiais renováveis ou por materiais que têm um longo tempo de vida de serviço em produção;
- Melhor controle do processo: modificação dos procedimentos operacionais, instruções das máquinas e armazenamento dos dados dos processos com o objetivo de aumentar a eficiência dos processos e reduzir sua emissão de resíduos;
- Modificação de equipamentos: modificação de equipamentos existentes, por exemplo, com a colocação de instrumentos de medição para melhorar sua eficiência;
- Mudança tecnológica: substituição de tecnologias ou alteração do sequenciamento de processos visando a redução da geração de resíduos durante o processo produtivo;
- Modificações no produto: modificação de características do produto para minimizar seus impactos durante seu uso e após sua disposição ou durante o processo produtivo;
- Uso eficiente de energia: mudanças nas fontes de energia ou substituição por fontes renováveis;
- Recuperação/reuso no local: reuso de resíduos no mesmo processo ou em outro na mesma empresa.

Embora existam diversos tipos de práticas para se colocar em prática a Produção mais Limpa, pode-se dizer que algumas delas apresentam um caráter mais preventivo do que outras, o que leva diversos autores a dividir as medidas de P+L em diferentes níveis e classificá-las quanto a seu grau de prevenção ou preferência ambiental. Barbieri (2007), por exemplo, classifica medidas de prevenção (P+L) e controle da poluição em termos de sua preferência ambiental conforme apresentado na Figura 9.

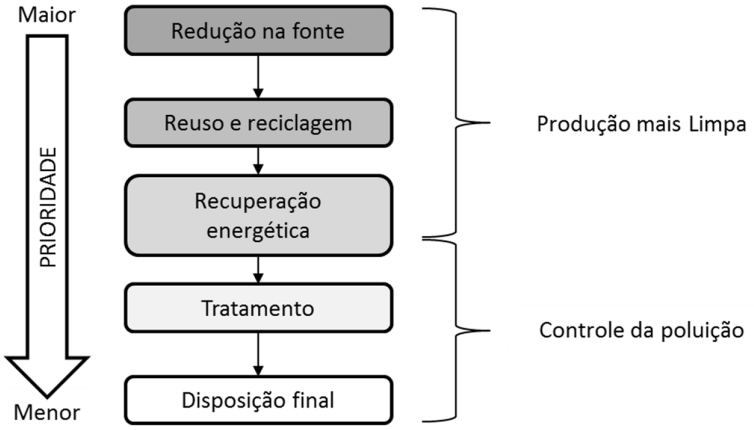


Figura 9 – A variação da prioridade ambiental entre a redução da poluição (P+L) e o controle da poluição. Barbieri, 2007

Outras fontes, como o Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL, 2003), dividem as medidas em três níveis, conforme apresentado na Figura 10, onde o nível 1 representa as medidas mais preventivas e o nível 3 as menos preventivas.

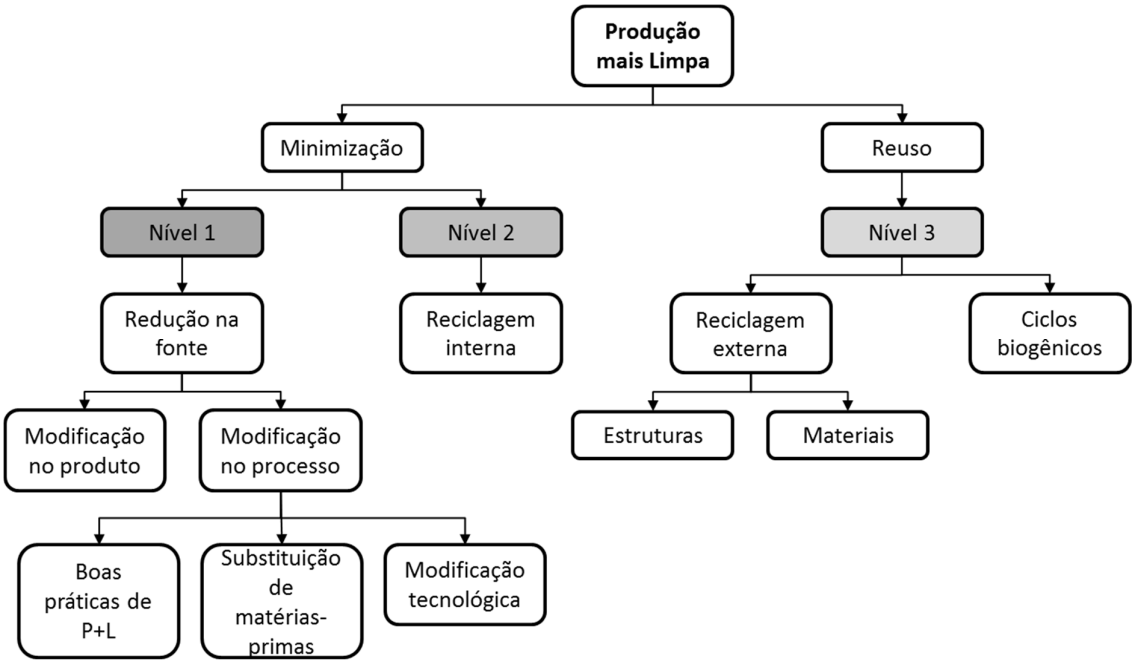


Figura 10 – Os três níveis de Produção mais Limpa e suas ações (CNTL, 2003).

A fronteira entre medidas preventivas e de controle pode muitas vezes não estar tão clara, como no caso, por exemplo, nas medidas de regeneração, onde a reutilização (preventiva) de

um determinado material é precedida por um processo de tratamento (controle). Desta forma, alguns autores classificam as medidas de melhorias em processos em um eixo que vai desde as medidas mais preventivas e de maior preferência ambiental até as de postura mais reativa e de menor preferência, conforme apresentado na Figura 11, elaborada com base nos trabalhos de LaGrega, Buckingham e Evans, 1994, Cervelini e Souza, 2009, CNTL 2003.

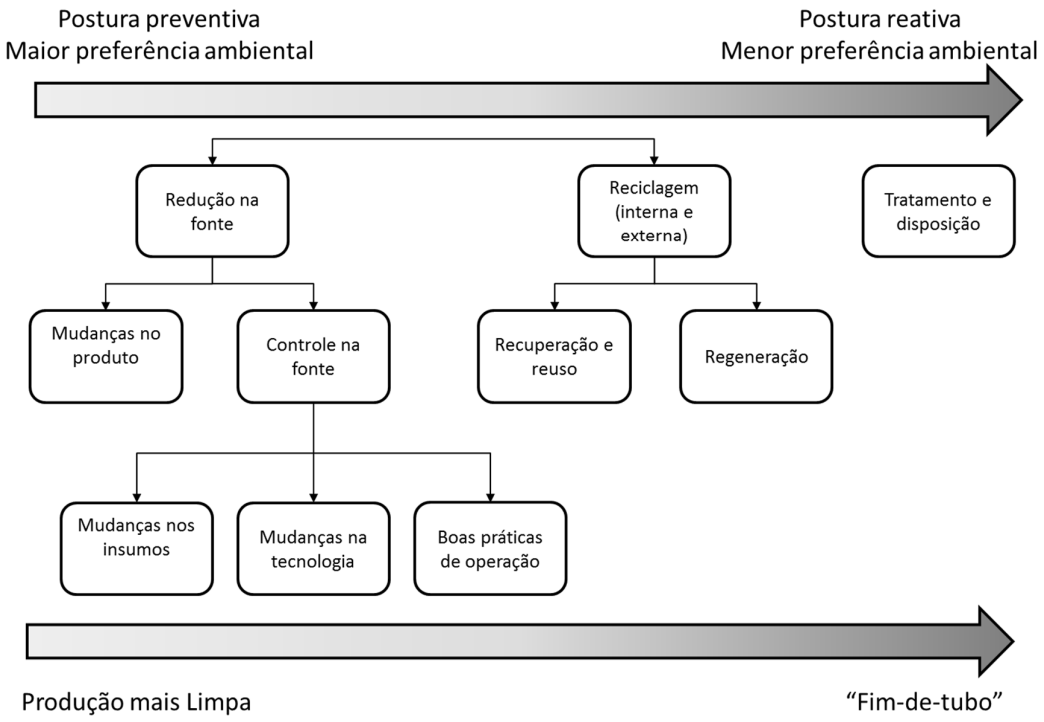


Figura 11 – A preferência ambiental da postura preventiva (Produção mais Limpa) versus a postura reativa ("fim-de-tubo"). Elaborada pela autora com base nos trabalhos de LaGrega, Buckingham e Evans (1994), Cervelini e Souza (2009), CNTL (2003).

3.2. Guias de Produção Mais Limpa

O processo de implantação da P+L é chamado também de Análise de Produção mais Limpa (*Cleaner Production Assessment*, CPA) e refre-se a um método estruturado para a identificação sistemática e avaliação das oportunidades de P+L, visando facilitar sua implantação (REMMEN; JENSEN; FRYDENDAL, 2007).

Segundo van Berkel (1994), a implantação da P+L deve garantir o estabelecimento de um programa contínuo, que não deve ser encerrado após o primeiro ciclo de melhorias. Sua implantação é geralmente guiada por um "método", um "procedimento" e "orientação e

supervisão externa", proporcionando uma estrutura conceitual para a identificação de opções P+L. O procedimento organiza as atividades necessárias e, assim, promove o desenvolvimento e implementação de oportunidades de P+L. A orientação e supervisão orientam, informam e estimulam a equipe responsável no nível da planta (VAN BERKEL,1994).

Existem diversas publicações que têm como objetivo auxiliar os usuários na implantação da Produção mais Limpa, fornecendo conhecimento teórico, estrutura conceitual, procedimentos e ferramentas. Estas publicações são os guias de P+L a serem estudados nesta sessão. Para a revisão dos guias de P+L foram adotados guias das principais organizações nacionais e internacionais envolvidas na difusão da prática de P+L:

- Programa das Nações Unidas de Meio Ambiente (United Nations Environment Programme – UNEP);
- Organização das Nações Unidas (United Nations Industrial Development Organization – UNIDO);
- Agência de Proteção Ambientais dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency – US EPA),
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb);
- Conselho Empresarial Brasileiro Para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS);
- Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai).

Estes guias foram analisados quando a seus objetivos, público alvo, definição de P+L ou P2 adotada, etapas propostas para a implantação da P+L e abordagem da Visão de Ciclo de Vida (em particular, a adoção de práticas de engenharia e gestão do ciclo de vida).

Foram analisados 9 guias elaborados entre os anos de 1992 e 2004 (sendo que um deles tem data desconhecida).

- **Facility Pollution Prevention Guide (US EPA, 1992)**

Este guia, elaborado pela US EPA em 1992, tem como público alvo os responsáveis pela implantação da P2 em suas instalações industriais ou de serviços e destina-se a ajudar pequenas e médias empresas a desenvolver programas de P2 abrangentes. De acordo com os autores, são abordados os passos básicos envolvidos no desenvolvimento de um programa de P2 adequado, porém, os leitores são encorajados a ir além dos princípios apresentados. As etapas propostas para a implantação da P2 são as seguintes:

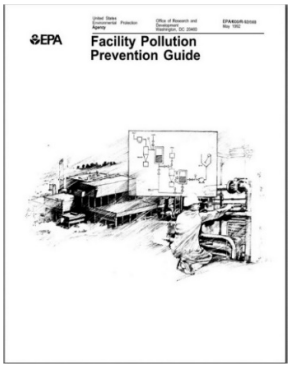


Figura 12 – Capa do guia Facility Pollution Prevention Guide (EPA, 1992)

Estabelecimento de um Programa de P2;

1. Organização do programa;
2. Avaliação preliminar;
3. Elaboração do plano do programa;
4. Avaliação detalhada;
5. Definição das opções de P2;
6. Análise de viabilidade;
7. Elaboração de relatório de avaliação;
8. Implantação do plano;
9. Medição do progresso;
10. Manutenção do programa de P2.

A definição de P2 apresentada é:

> *Pollution prevention is the maximum feasible reduction of all wastes generated at production sites. It involves the judicious use of resources through source reduction, energy efficiency, reuse of input materials during production, and reduced water consumption. There are two general methods of source reduction that can be used in a pollution prevention program: product changes and process changes. They reduce the volume and toxicity of production wastes and of end-products during their life-cycle and at disposal* (US EPA, 1992)

De acordo com os autores do guia, a P2 pode ser colocada em prática por meio de mudanças no produto (ou em seu design) ou em seu processo produtivo, e considera que a P2 reduzirá os impactos ao longo de todo o ciclo de vida do produto.

Na etapa de análise da viabilidade, os autores afirmam que devem ser reunidas informações sobre os aspectos ambientais do produto não só na fase de produção, mas ao longo de todo o ciclo de vida do produto, incluindo extração de matérias-primas e tratamento dos resíduos inevitáveis.

O guia inclui ainda um capítulo sobre o design de produtos “ambientalmente compatíveis” (*Designing Environmentally Compatible Products*), e propõe uma ACV do design do produto. De acordo com os autores, grande parte dos impactos ambientais associados a um produto é determinada durante sua fase de design.

- **EPA Federal Facility Pollution Prevention Planning Guide (US EPA, 1994)**

United States Environmental Protection Agency

Office of Enforcement and Compliance Assurance Washington, DC 20460

EPA 300-B-94-012
November 1994

EPA Federal Facility Pollution Prevention Planning Guide

Figura 13 – Capa do guia EPA Federal Facility Pollution Prevention Planning Guide (US EPA, 1994)

De acordo com os autores, o governo federal possui uma posição de destaque na promoção da P2, servindo como exemplo ao adotar a P2 como sua principal técnica para a gestão ambiental. A adoção de P2 pelos estabelecimentos federais é uma exigência legal, e o presente guia visa auxiliares seus coordenadores ambientais no desenvolvimento de programas de P2 formais, visando o atendimento de normas federais para a redução emissões de produtos químicos poluentes.

O guia destina-se a ser um guia de referência rápida que pode ajudar no desenvolvimento de um plano de prevenção de poluição e um amplo programa de gestão ambiental. Este documento não é um guia técnico abrangente e os autores incentivam seus usuários a buscas outros documentos de orientação de planejamento desenvolvidos pela US EPA

A definição de P2 apresentada é:

> *(...) any practice which reduces the amount of a hazardous substance, pollutant, or contaminant entering any waste stream or otherwise released into the environment (including fugitive emissions) prior to recycling, treatment, or disposal; and any practice which reduces the hazards to public health and the environment associated with the release of such substances, pollutants, or contaminants* (US EPA, 1994)

As fases apresentadas para a implantação de P2 são:

1. Desenvolvimento dos objetivos da P2;
2. Obtenção do comprometimento dos gestores;
3. Estabelecimento de um time de P2;
4. Estabelecimento de uma linha de base;
5. Condução da avaliação das oportunidades de P2;
6. Desenvolvimento de um critério de priorização das atividades/oportunidades;
7. Condução uma revisão.

De acordo com os autores, devem-se priorizar os projetos de P2 com base em seu custo-benefício, começando com projetos de baixo custo e alto impacto. Para isso, sugerem análises

de custo e de ciclo de vida das opções de P2, com maiores informações disponíveis no guia da US EPA "*Federal Facility Pollution Prevention Project Analysis: Primer for Applying Life Cycle and Total Cost Assessment Concepts*" (US EPA, 1995), que fornece diretrizes para a avaliação de custo de opções de P2.

Este guia baseia-se na análise de custos e na Avaliação de Ciclo de Vida para auxiliar os usuários na análise de oportunidades de P2. Porém, o guia é muito antigo e foi escrito antes do estabelecimento das normas ISO 14040 para ACV e, portanto, seria interessante que fosse atualizado com ferramentas mais modernas.

- **Cleaner Production – A training resource package (UNEP, 1996)**

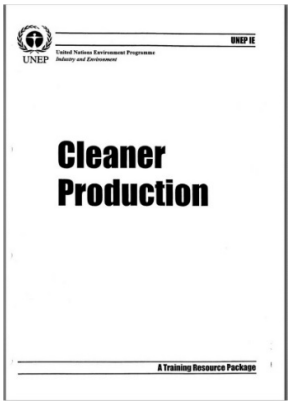


Figura 14 – Capa do guia Cleaner Production – A training resource package (UNEP, 1996)

O público alvo desta publicação são professores e treinadores que querem iniciar seus estudos na P+L, com o intuito de fornecerem treinamentos no tema. O guia apresenta apenas as questões centrais, além de apresentar alguns estudos de caso.

A definição de P+L apresentada é:

(…) the continuous application of an integrated preventive environmental strategy applied to processes, products and services to increase eco-efficiency and reduce risks to humans and the environment (UNEP, 1996).

Segundo os autores, para obter sucesso, a P+L deve ser implementada por meio de uma abordagem de ciclo de vida, incluído design do produto, tecnologias de produção mais limpas, uso eficiente de energia e materiais, otimização das tecnologias existentes e um alto padrão de segurança operacional.

Para processos produtivos, a P+L inclui a conservação de matérias primas e energia, a eliminação de resíduos tóxicos ou perigosos e a redução de emissões e resíduos na fonte, o que pode ser alcançado por meio de mudanças tecnológicas, mudanças nos insumos, *housekeeping* e reuso interno. Para produtos, a P+L busca reduzir os impactos ao longo de todo o ciclo de vida.

As fases apresentadas para a implantação da P+L são:

1. Pré-avaliação;

2. Balanço de materiais;
3. Síntese.

No nível de planejamento, o guia apresenta algumas técnicas disponíveis: avaliação de impactos ambientais, avaliação e gestão de riscos, auditorias ambientais, gestão da qualidade total, entre outras. Dentre as ferramentas mais orientadas para produtos e processos, os autores citam a rotulagem ambiental, avaliação do ciclo de vida de produtos, auditorias de resíduos, entre outras.

Os autores reforçam que a busca pela melhoria contínua é uma das características da P+L e que, ainda o papel dos especialistas em meio ambiente seja importante, a responsabilidade principal da P+L não é deles.

- **Implementação de um programa de Prevenção à Poluição (CETESB, 2002)**

Figura 15 – Capa do guia Implementação de um programa de Prevenção à Poluição (CETESB, 2002)

Neste documento é apresentado um método de apoio para o planejamento e desenvolvimento de um programa de P2. A definição de P2 adotada é apresentada a seguir:

A P2 refere-se a qualquer prática, processo, técnica e tecnologia que visem à redução ou eliminação em volume, concentração e toxicidade dos poluentes na fonte geradora. Inclui também modificações nos equipamentos, processos ou procedimentos, reformulação ou replanejamento de produtos, substituição de matérias-primas, eliminação de substâncias tóxicas, melhorias nos gerenciamentos administrativos e técnicos da empresa e otimização do uso das matérias-primas, energia, água e outros recursos naturais (CETESB, 2002)

Os autores apresentam 15 passos para o desenvolvimento do programa:

1. Comprometimento da direção da empresa;
2. Definição da equipe de P2;
3. Elaboração da Declaração de Intenções;
4. Estabelecimento de prioridades objetivos e metas;
5. Elaboração cronograma de atividades;
6. Disseminação de informações sobre P2;

7. Levantamento de dados;
8. Definição de indicadores de desempenho;
9. Identificação de oportunidades de P2;
10. Levantamento de tecnologias;
11. Avaliação econômica;
12. Seleção das medidas de P2;
13. Implantação das medidas de P2;
14. Avaliação dos resultados;
15. Manutenção do programa.

Este guia foi elaborado com base no documento da US EPA *Facility Pollution Prevention Guide* (US EPA, 1992), além de outros documentos da própria CETESB. O documento não faz nenhuma menção ao ciclo de vida dos produtos.

- **Cinco Fases da Implantação de Técnicas de Produção mais Limpa (SENAI - RS, 2003)**

Figura 16 – Capa do guia Cinco Fases da Implantação de Técnicas de Produção mais Limpa (SENAI - RS, 2003)

Este documento apresenta um passo a passo de como conduzir uma avaliação de P+L, voltado para gerentes de empresas (de qualquer porte) que visam adotar esta prática. São apresentadas cinco fases para a implantação, bem como seus passos intermediários (1 a 20).

- Planejamento e Organização;

1. Primeiro passo - Obter o comprometimento da gerência
2. Segundo passo – Organizar o Ecotime
3. Terceiro passo - Estabelecer metas
4. Quarto Passo - Barreiras e soluções

- Pré-Avaliação

5. Quinto passo - Desenvolver um fluxograma de processo
6. Sexto passo - Avaliar as entradas e saídas
7. Sétimo passo - Determinar os focos da Avaliação de Produção Mais Limpa

- Avaliação

8. Oitavo passo – Originar um balanço de material
9. Nono passo – Avaliação das causas

10. Décimo passo – Gerar oportunidades de produção mais limpa
11. Décimo primeiro passo – Seleção de oportunidades

- Estudo de Viabilidade

12. Décimo segundo passo - Avaliação Preliminar.
13. Décimo terceiro passo - Avaliação Técnica
14. Décimo quarto passo - Avaliação econômica
15. Décimo quinto passo - Avaliação Ambiental
16. Décimo sexto passo - Selecionar Oportunidades

- Implantação

17. Décimo sétimo passo - Preparar um Plano de Produção Mais Limpa
18. Décimo oitavo passo - Implementar oportunidades de produção mais limpa
19. Décimo nono passo - Monitorar e Avaliar
20. Vigésimo passo - Sustentar atividades de produção mais limpa

Este guia foi elaborado com base no guia da UNEP *Guidance Materials for the UNIDO/UNEP National Cleaner Production Centres* (UNEP, 1995).

Os autores abordam a visão do ciclo de vida no décimo passo ("Gerar oportunidades de produção mais limpa"), ao estruturar a geração de oportunidades em (1) mudança em matérias-primas; (2) mudança tecnológica; (3) boas práticas operacionais; (4) mudanças no produto e (5) reuso e reciclagem no local. No caso de mudanças no produto (4), os autores defendem que devem ser levados em consideração os impactos do produto ao longo de todo seu ciclo de vida, desde a extração da matéria-prima até a disposição final.

O ciclo de vida dos produtos é novamente abordado no passo 15 ("Avaliação ambiental"), no qual os autores afirmam que, no caso de mudanças no processo ou produtos, devem ser estimadas as vantagens ambientais ao longo de todo o ciclo de vida. Para isso, os autores distinguem entre três níveis para a avaliação ambiental:

- Avaliação simples, baseada na redução da toxicidade e quantidade de resíduos e emissões e perdas de energia;
- Avaliação profunda do efeito da composição de novas entradas e saídas;
- Simples avaliação do ciclo de vida.

As informações necessárias para fazer uma avaliação ambiental apropriada do produto, matéria-prima ou parte constituinte do processo em questão relacionam-se a:

- Mudanças na quantidade de toxicidade dos resíduos e emissões por todo o ciclo de vida do produto;
- Mudanças no consumo de energia durante o ciclo de vida do produto;
- Substituição dos efeitos ambientais para outros materiais;
- Substituição dos efeitos ambientais para outros meios;
- Mudanças na degradabilidade dos resíduos e emissões;
- A extensão à qual são usadas as matérias-primas renováveis;
- Mudanças no reuso das correntes de resíduos.

Porém, os autores afirmam que "uma avaliação do ciclo de vida (ACV) somente deve ser feita em casos especiais, como por exemplo, quando o governo exigir tal avaliação".

- **Implementação de Programas de Produção mais Limpa (CNTL, 2003)**

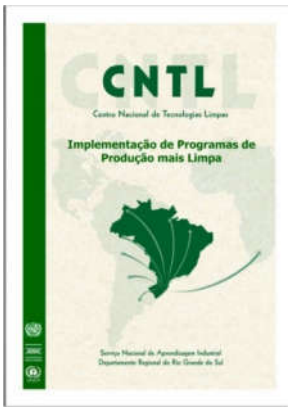


Figura 17 – Capa do guia Implementação de Programas de Produção mais Limpa (CNTL, 2003).

Esta publicação é um dos produtos resultantes do projeto denominado SISTEMA DE INFORMAÇÃO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA BRASILEIRA - INFOREDE, executado pelo CNTL SENAI-RS/UNIDO/UNEP.

Neste documento, a avaliação do ciclo de vida de produtos é mostrada como uma tendência na evolução das questões ambientais. O foco, antes nos resíduos (postura reativa), passou a ser nos processos (postura preventiva) e, seguindo a tendência atual, passa a ser no ciclo de vida (responsabilidade).

A definição de P+L apresentada é:

Produção mais Limpa é a aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, com benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômicos (CNTL, 2003)

Os autores reforçam ainda que a P+L considera a variável ambiental em todos os níveis da empresa, como por exemplo, a compra de matérias-primas, a engenharia de produto, o design, o pós-venda (isto é, ao longo de todo o ciclo de vida), e destaca o potencial para ganhos econômicos com a P+L.

Dentre os benefícios esperados da P+L, os autores destacam: eliminação/redução de resíduos; produção sem poluição; eficiência energética; saúde e segurança no trabalho e produtos e embalagens ambientalmente adequados (considerando todo seu ciclo de vida, desde os primeiros passos no desenvolvimento).

As etapas apresentadas para a implantação da P+L são:

1. ETAPA 1 - Comprometimento gerencial; identificação de barreiras; estudo da abrangência do programa; formação do ecotime;
2. ETAPA 2 - Fluxograma do processo; diagnóstico ambiental e de processo; seleção do foco da avaliação;
3. ETAPA 3 - Balanço material e indicadores; identificação das causas da geração de resíduos; identificação das opções de P+L;
4. ETAPA 4 - Avaliação técnica e ambiental; seleção das oportunidades viáveis;
5. ETAPA 5 - Plano de implantação e monitoramento; plano de continuidade.

Com relação às opções de P+L, os autores as classificam entre ações de minimização e de reuso. As ações de redução podem ser modificações no produto ou no processo. As modificações no processo podem ser boas práticas, substituição de matérias-primas ou insumos ou modificações tecnológicas.

Os autores destacam que, para as modificações de materiais, deve-se priorizar o uso de materiais que tenham seu ciclo de vida conhecido e que facilitem o sistema de fim de vida de produtos – porém, em nenhum outro tipo de ação de P+L é proposta a visão do ciclo de vida.

- **Guidance Manual on How to Establish and Operate Cleaner Production Centres (UNEP/UNIDO, 2004)**

Os centros de P+L são fontes primárias de conhecimento e assessoria na P+L. Este manual tem como objetivo fornecer informações acerca do planejamento para o estabelecimento e operação bem sucedida de centros de P+L. O manual é dividido em seis capítulos: (1) Entendendo a P+L; (2) Evolução dos centros de P+L; (3) Como estabelecer um centro de P+L;

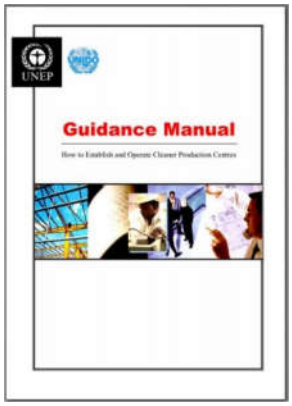


Figura 18 – Capa do guia Guidance Manual on How to Establish and Operate Cleaner Production Centres (UNEP/UNIDO, 2004)

(4) Como fornecer serviços de um centro de P+L (serviços básicos); (5) Como fornecer serviços de um centro de P+L (serviços estratégicos) e (6) Como monitorar e avaliar o progresso de um centro de P+L, sendo que os procedimentos para implantação da P+L são abordados no capítulo 4. A definição de P+L apresentada é:

(...) *the continuous application of an integrated preventive environmental strategy applied to processes, products and services to increase overall efficiency, and reduce risks to humans and the environment. Cleaner production can be applied to the processes used in any industry, to products themselves and to various services provided in society* (UNEP; UNIDO, 2004)

Segundo os autores, para processos produtivos, a P+L resulta da combinação de conservação de matérias primas e energia, substituição de materiais perigosos e redução da quantidade e toxicidade de todas e emissões e resíduos, antes que eles deixem o processo produtivo. Para produtos, a P+L foca na redução dos impactos ao longo de todo seu ciclo de vida, desde a extração de matérias primas, até a disposição final, por meio do design adequado de produtos. Para serviços, a P+L incorpora as questões ambientais no design e entrega dos serviços.

As fases apresentadas para a implantação da P+L são:

1. Planejamento e organização;
2. Obtenção do comprometimento da alta gerência;
3. Envolvimento dos funcionários;
4. Organização do time de P+L;
5. Identificação de barreiras e soluções para a P+L;
6. Decisão do foco da P+L;
7. Pré-avaliação;
8. Compilação e preparação das informações básicas;
9. Conduzir uma caminhada;
10. Preparar eco-mapa;
11. Preparar material preliminar para balanço de massa e energia;
12. Avaliação;

13. Preparar balanço de massa e energia detalhado;
14. Conduzir diagnóstico de causas;
15. Gerar opções;
16. Analisar opções;
17. Análise de viabilidade;
18. Conduzir análises econômica e ambiental;
19. Selecionar opções viáveis;
20. Implantação e continuidade;
21. Preparar plano de ação da P+L;
22. Manter a P+L.

Os autores afirmam que a P+L vai além dos processos de manufatura, envolvendo produtos no contexto de seu ciclo de vida como um todo – isso pode ser feito por meio do design adequado dos produtos. Dentre as opções de P+L citadas pelos autores (*housekeeping*, otimização de processos, substituição de matérias primas, novas tecnologias e novos designs de produtos), as melhorias com foco no ciclo de vida são aquelas que envolvem mudanças no design de produtos.

O texto destaca ainda que os termos "Produção mais Limpa" e "Prevenção À Poluição" são muitas vezes usados como sinônimos, sendo que sua adoção está ligada a fatores geográficos (P2, por exemplo, tende a ser mais adotada na América do Norte). Porém, o termo "Produção mais Limpa" seria mais abrangente, segundo os autores, pois inclui a redução dos impactos com foco em todo o ciclo de vida de produtos.

Na etapa de avaliação ambiental das opções de P+L, os autores afirmam que se deve, idealmente, levar em conta seus impactos ao longo de todo o ciclo de vida do produto ou serviço, sempre que isso for possível em termos práticos. Porém, muitas vezes esta avaliação é restrita apenas ao ambiente interno ou da vizinhança mais próxima.

- **Guia da Produção mais Limpa – Faça Você Mesmo (CEBDS, 2013)**

Este guia foi desenvolvido para orientar os empresários na aplicação de um método de P+L, tendo como objetivo a redução na geração de resíduos e obtenção de benefícios econômicos. O guia apresenta uma forte ênfase nos aspectos econômicos associados à P+L, considerando

Figura 19 – Capa do guia Guia da Produção mais Limpa – Faça Você Mesmo (CEBDS, 2013)

não apenas os gastos com o tratamento e disposição dos resíduos, mas também referentes à perda de matéria prima associada. A definição apresentada para a P+L é:

É a aplicação contínua de uma estratégia ambiental de prevenção da poluição na empresa, focando os produtos e processos, para otimizar o emprego de matérias-primas, de modo a não gerar ou a minimizar a geração de resíduos, reduzindo os riscos ambientais para os seres vivos e trazendo benefícios econômicos para a empresa (CEBDS, 2013.)

As fases apresentadas para a P+L são:

1. Comprometimento da direção da empresa
2. Sensibilização dos funcionários;
3. Formação do ECOTIME;
4. Apresentação da metodologia;
5. Pré-avaliação;
6. Elaboração dos fluxogramas;
7. Tabelas quantitativas;
8. Definição de indicadores;
9. Avaliação dos dados coletados;
10. Barreiras;
11. Seleção do foco de avaliação e priorização;
12. Balanços de massa e de energia;
13. Avaliação das causas de geração dos resíduos;
14. Geração das opções de PmaisL;
15. Avaliação técnica, ambiental e econômica;
16. Seleção da opção;
17. Implantação;
18. Plano de monitoramento e continuidade.

Este guia foi elaborado com base no documento da UNEP *Guidance Materials for the UNIDO* (UNEP, 1995) e não faz nenhuma menção ao ciclo de vida dos produtos.

3.2.1. Guia modelo

- **Cleaner Production Assessment in Dairy Processing (COWI, 2000)**

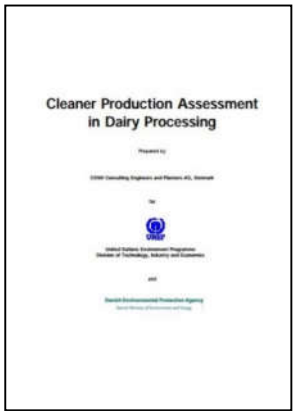


Figura 20 – Capa do guia Cleaner Production Assessment in Dairy Processing (COWI, 2000)

Este documento é voltado para a implantação da Produção mais Limpa em empresas do ramo de laticínios, porém, suas diretrizes podem ser facilmente aplicadas em empresas de qualquer ramo. A definição de P+L apresentada é:

Cleaner Production is defined as the continuous application of an integrated preventive environmental strategy applied to processes, products and services to increase overall efficiency and reduce risks to humans and the environment (COWI, 2000)

Sobre o ciclo de vida, o guia menciona que a P+L é geralmente aplicada na fase de produção do ciclo de vida – porém, pode ser expandida para todo o ciclo de vida desde seu design até sua disposição final. O guia considera ainda que, para produtos, a P+L significa a redução dos impactos ao longo de todo seu ciclo de vida e que o design de novos produtos pode ser classificado como um dos tipos de ações da P+L. Porém, na parte prática onde são propostas as atividades na implantação da P+L, não menciona como o ciclo de vida pode ser levado em consideração.

Além de fornecer informações teóricas sobre a P+L, informações sobre a produção de laticínios e apresentar oportunidades de P+L específicos para este ramo de atuação, o documento apresenta um guia bastante completo da implantação da P+L. As fases apresentadas são:

1) Planejamento e organização
   a) Obtenção do compromisso da gerência
   b) Estabelecimento de uma equipe para o projeto
   c) Desenvolvimento de políticas, objetivos e metas
   d) Planejamento
2) Pré-avaliação
   a) Descrição da empresa e fluxograma
   b) Inspeção in loco
   c) Estabelecimento de um foco

3) Avaliação
    a) Coleta de dados quantitativos
    b) Balanço de massa e energia
    c) Identificação de oportunidades de P+L
    d) Listagem e classificação das oportunidades
4) Estudo de viabilidade
    a) Avaliação preliminar
    b) Viabilidade técnica
    c) Viabilidade econômica
    d) Viabilidade ambiental
    e) Seleção de opções viáveis
5) Planejamento e organização
    a) Preparação de um plano de implementação
    b) Implementação das opções selecionadas
    c) Monitoramento do desempenho
    d) Manutenção das atividades de Produção Mais Limpa

Além das fases, o guia detalha atividades para cada uma das fases e apresenta exemplos de como podem ser colocadas em prática as atividades propostas. Por ser um dos guias mais completos, este guia foi selecionado para ser usado como modelo no presente trabalho.

3.3. Casos de Produção Mais Limpa

3.3.1. Casos apresentados pela CETESB

Os 86 casos apresentados pela CETESB estendem-se ao longo dos anos de 2002 a 2012, conforme apresentado na Figura 21.

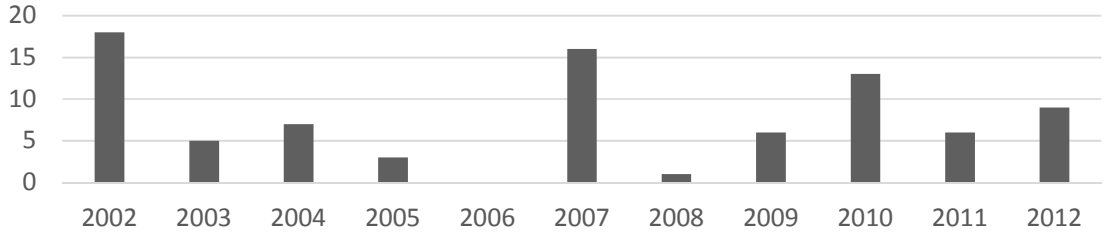


Figura 21 - Distribuição dos 84 casos da CETESB ao longo dos anos de 2003 a 2015.

Na Figura 22 são apresentados os resultados referentes à identificação das Oportunidades de P+L citadas nos casos da CETESB.

Os resultados apontam como principais oportunidades para a adoção da P+L nos casos apresentados pela CETESB a redução da geração de resíduos e a redução do consumo de água. Conforme apresentado nos casos, isso se explica pelo fato de que, no estado de São Paulo, muitas regiões já começam a expressar certo *stress* hídrico, tornando este recurso mais escasso. Além disso, os custos do descarte de resíduos têm se tornando cada vez mais proibitivos, principalmente para o descarte de substâncias perigosas feito em aterros controlados, pressionando as empresas na busca por alternativas para a redução na geração de resíduos. Também em destaque estão a redução do consumo de insumos e a redução da geração de efluentes.

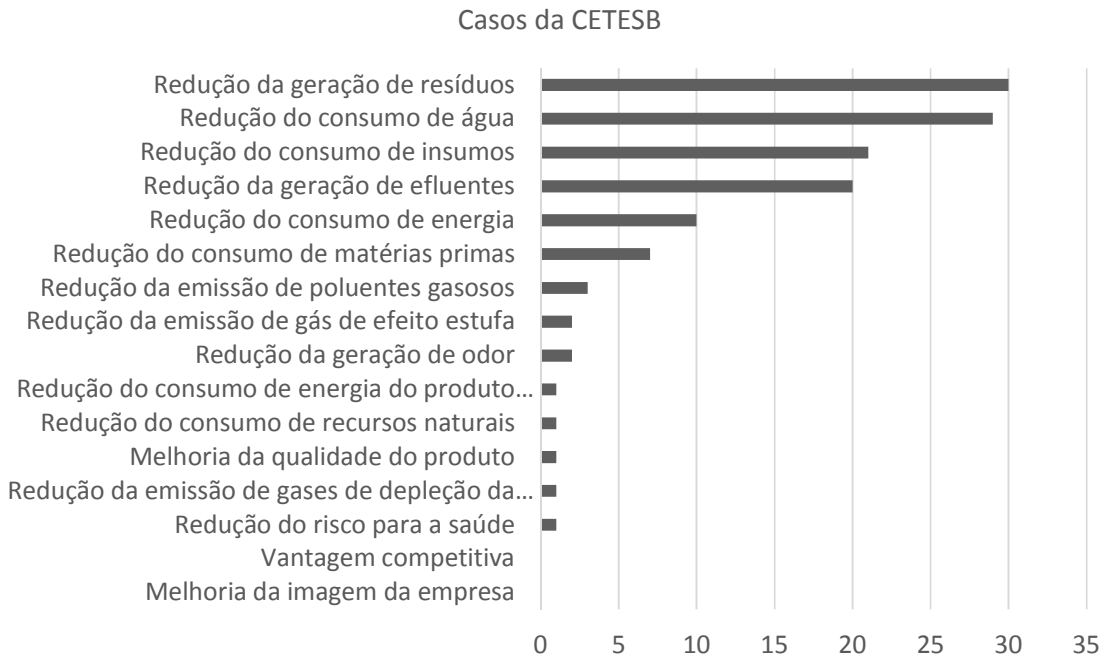


Figura 22 – Resultados quantitativos dos motivadores da P+L identificados nos casos de P+L da CETESB estudados.

Em seguida foram analisadas as Medidas de P+L adotadas nos casos da CETESB estudados. Os resultados encontram-se na Figura 23.

Para os casos da CETESB, nota-se uma elevada ocorrência das medidas de P+L do tipo Regeneração e reuso, que é listada como a medida menos preferível dentro da P+L. Este tipo

de medida se aproxima de uma medida de “fim-de-tubo” pois consiste no tratamento de algum resíduo gerado para que ele possa ser reaproveitado. Ou seja, não é uma medida que atua diretamente na fonte geradora do aspecto ambiental, reduzindo a geração de resíduos, embora também não seja uma medida de “fim-de-tubo”. As medidas de Mudanças no produto, por sua vez, tiveram uma ocorrência baixa, embora sejam as mais preferíveis em termos de prevenção da poluição.

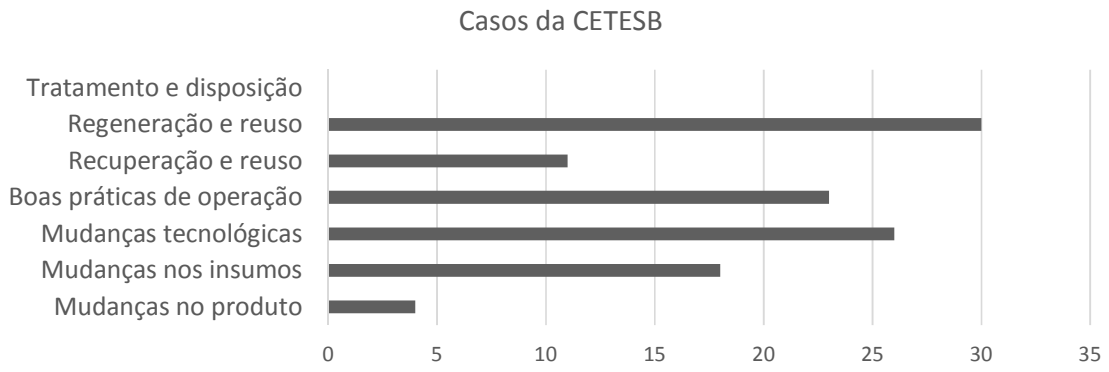


Figura 23 – Resultados quantitativos das medidas de P+L adotadas, identificadas nos casos de P+L da CETESB.

Este resultado pode indicar que a Produção mais Limpa nas empresas estudas é imatura, pois ainda mantém algumas características da abordagem de “fim-de-tubo” que predominou durante algum tempo nas indústrias.

Os casos das empresas apresentadas pela CETESB não fazem menção direta ao uso de nenhuma ferramenta de engenharia e gestão do ciclo de vida, porém algumas evidências da adoção de uma visão de ciclo de vida puderam ser identificadas. Dentre elas podemos citar:

- Atuação conjunta com fornecedores para identificação e desenvolvimento de alternativas mais sustentáveis para os insumos fornecidos;
- Criação de uma logística reversa com fornecedores para reaproveitamento de embalagens.

O envolvimento dos fornecedores é interessante do ponto de vista da Visão de Ciclo de Vida pois garante uma maior troca de informações sobre os aspectos e impactos ocasionados em outras etapas do ciclo de vida, além das fronteiras da empresa.

Além destas evidências, podemos citar o caso nº 56, no qual são propostas mudanças no *design* do produto visando a redução do consumo de energia na fase de uso, uma das fases de maior impacto para o produto. Neste caso, os autores não deixam claro se estas conclusões foram resultado de algum tipo específico de estudo ou avaliação do ciclo de vida.

3.3.2. Casos apresentados pelo Governo do Canadá

Na Figura 24 são apresentados os resultados referentes às Oportunidade de P+L identificadas nos casos de P+L apresentados pelo Governo do Canadá.

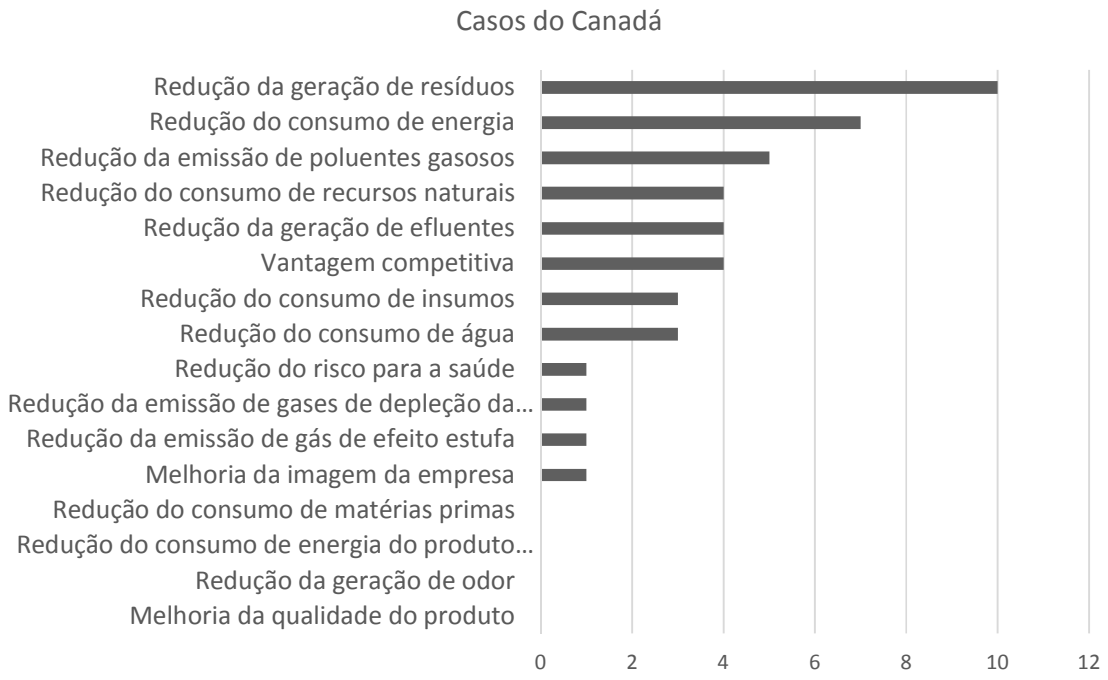


Figura 24 - Resultados quantitativos dos motivadores da P+L identificados nos casos de P+L do Canadá estudados.

Os resultados apontam como principais oportunidades para a adoção da P+L nos casos do Canadá a redução da geração de resíduos e a redução do consumo de energia. Mais uma vez, as preocupações com a geração de resíduos se mostram relevantes, provavelmente devido aos crescentes custos associados a este tipo de aspecto ambiental. O consumo de energia também se mostra muito relevante no Canadá, um país cujo clima extremo torna necessário o controle das temperaturas, resultando em custos e impactos ambientais principalmente associados à queima de combustíveis fósseis. Outro ponto que se pode destacar é que nos

casos canadenses, diversas empresas mostraram-se motivadas a adotar medidas de prevenção à poluição pois consideraram a sustentabilidade como uma vantagem competitiva e até mesmo uma forma de melhorar a imagem da empresa.

Os resultados referentes às análises das Medidas de P+L adotadas nos casos do Canadá são apresentadas na Figura 25.

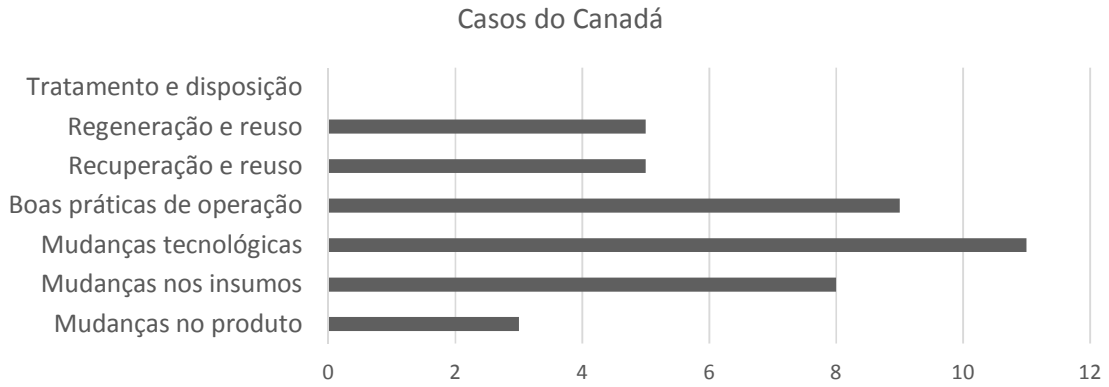


Figura 25 - Resultados quantitativos das medidas de P+L adotadas, identificadas nos casos de P+L do Canadá.

Nos casos do Canadá, embora a ocorrência das medidas de Regeneração e reuso ainda seja elevada, as medidas de Boas práticas de operação, Mudanças tecnológicas e Mudanças nos insumos predominam. Estas medidas são preferíveis pois atuam diretamente na fonte, de forma mais preventiva quando comparadas com as medidas de recuperação, regeneração e reuso. As Mudanças no produto, medida mais preferível da P+L segundo a classificação de LaGrega (1994), foram um pouco mais frequentes nos casos do Canadá em comparação com os da CETESB (7% do total das medidas de P+L adotadas, contra 4% nos casos da CETESB); porém, sua ocorrência ainda foi baixa. Estes resultados podem indicar uma maior maturidade de Produção mais Limpa praticada pelas empresas estudadas nos casos canadenses.

Nos casos do Canadá as preocupações como ciclo de vida são mais frequentes em relação aos casos da CETESB. Algumas das evidências da adoção da Visão de Ciclo de Vida nos casos canadenses são:

- Adoção de uma abordagem holística por meio da inclusão das fases de projeto, construção e operação e da análise simultânea de diversos tipos de impactos como geração de resíduos, consumo de água e energia;

- Atuação ativa com fornecedores de serviços e matérias-primas incluindo: programas de garantia de desempenho, manutenção mensal, *upgrade* de equipamentos e adoção de novas tecnologias;
- Adoção de uma postura de líderes de sustentabilidade, promovendo *workshops* de Prevenção da Poluição para disseminar informações e transferir o conhecimento das técnicas e melhores práticas de P2;
- Atuação em toda a cadeia de valor por meio de um programa de Compras Verdes (*Green Purchase*) e consumidores conscientes;
- Adoção de medidas de Cadeia de Suprimentos Verde (*Green Supply Chain*) com um programa de re-manufatura, onde a empresa compra os produtos usados do consumidor e os usa como fonte de matéria-prima reciclada;
- Encorajamento da adoção de medidas de sustentabilidade pelos fornecedores, como reciclagem e re-manufatura;
- Treinamentos e ações de educação ambiental para funcionários e consumidores;
- Preocupação em não apenas reduzir seu próprio impacto por meio do desenvolvimento de soluções mais sustentáveis, mas também em passar adiante as novas tecnologias sustentáveis desenvolvidas pela empresa;
- Design sustentável dos novos edifícios visando a redução dos impactos ambientais na fase de uso, responsável por grande parte dos impactos do processo;
- Atuação em parceria com os fornecedores para o desenvolvimento soluções sustentáveis em embalagens;
- Colaboração dos fornecedores na identificação de oportunidade de melhoria ambiental.

Embora diversos casos canadenses apresentassem alguma evidência da abordagem de ciclo de vida, muitos dos casos não mostravam nenhuma preocupação neste sentido.

3.3.3. Casos apresentados pela Rede Zero Waste (EUA)

Os 537 casos apresentados pela Rede Zero Waste dos EUA são distribuídos ao longo de 13 anos, de 2003 a 2015, sendo a maioria dos casos de 2003 e nenhum caso de 2012, como mostra a Figura 26. Devido à grande quantidade de casos e de sua distribuição ao longo de 13 anos, buscou-se analisar como os parâmetros identificados (Oportunidades e Medidas de P+L)

variaram com o tempo. Porém, a distribuição desigual do número de casos ao longo dos anos dificultou esta análise.

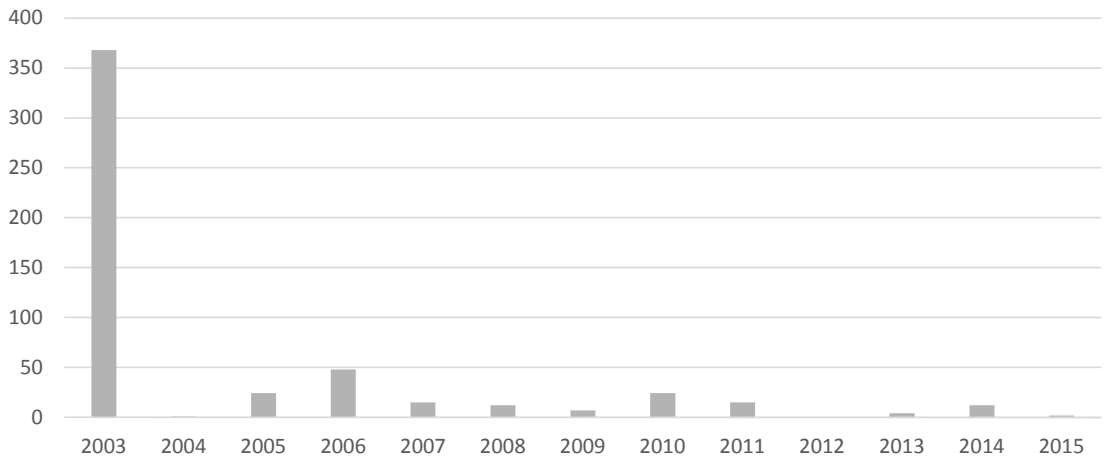


Figura 26 – Distribuição dos 537 casos da P2 da Rede Zero Waste ao longo dos anos de 2003 a 2015.

Os resultados da identificação das Oportunidades de P+L identificadas nos casos são apresentados nas Tabela 3, Tabela 4, Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 - Resultados quantitativos das Oportunidades de P+L identificadas nos casos de P+L dos EUA.

Oportunidades de P+L	Anos 2003 - 2015 *537 casos*
Melhoria da imagem da empresa	0,0%
Vantagem competitiva	0,2%
Redução do risco para a saúde	2,7%
Red. da emissão de gases de dep. da cam. de ozônio	2,0%
Melhoria da qualidade do produto	0,3%
Redução do consumo de recursos naturais	1,3%
Redução do consumo de energia do produto final	0,0%
Redução da geração de odor	0,7%
Redução da emissão de gás de efeito estufa	1,3%
Redução da emissão de poluentes gasosos	14,3%
Redução do consumo de matérias primas	0,7%
Redução do consumo de energia	6,5%
Redução da geração de efluentes	5,5%
Redução do consumo de insumos	5,1%
Redução do consumo de água	6,6%
Redução da geração de resíduos	52,9%

Conforme mostra a Tabela 1, a principal Oportunidade de P+L identificada nos casos dos EUA foi a redução na geração de resíduos (52,9%), onde foram incluídas as oportunidades de redução nas quantidades de resíduos e em sua toxicidade, por exemplo, com a eliminação de resíduos tóxicos que passaram a ser proibidos por lei. Também se destacam a redução na geração de poluentes gasosos, com os compostos orgânicos voláteis (COVs) sendo um dos principais poluentes a serem reduzidos, a redução no consumo de energia, água e insumos e a redução na geração de efluentes. Muitas das oportunidades citadas nos casos estavam relacionadas a exigências legais para a redução e eliminação de substâncias e poluentes. Nenhuma tendência específica nas oportunidades de P+L pôde ser observada com o passar dos anos, como mostra a Tabela 3.

As Medidas de P+L predominantes foram as mudanças tecnológicas (23,7%), boas práticas de operação (21,9%) e as medidas de recuperação e reuso (20,1%), como pode ser visto na Tabela 2. Como se pode ver na Tabela 4, no ano de 2003, onde a maioria dos casos estão concentrados, foram identificados todos os tipos de medidas, desde mudanças nos produtos (0,9%) até medidas de tratamento e disposição (6,6%). No ano de 2005, com 24 casos, embora a medida mais adotada tenha sido as boas práticas de operação (27,3%), a ocorrência de práticas de tratamento e disposição foram elevadas (12,1%) e as práticas de recuperação/regeneração e reuso também estiveram bastante presentes, embora sejam menos preferíveis ambientalmente dentro do contexto da P+L. Nos anos seguintes, a ocorrência das medidas de tratamento e disposição reduziu e desapareceu (1,2% em 2006, e zero no restante dos anos). Não foi possível identificar mais nenhuma tendência na adoção das medidas de P+L ao longo dos anos seguintes, possivelmente devido à distribuição desigual dos casos.

Tabela 2 – Resultados quantitativos das Medidas de P+L adotadas nos casos de P+L dos EUA.

Medida de P+L	Anos 2003 - 2015 *537 casos*
Mudanças no produto	1,0%
Mudanças nos insumos	14,2%
Mudanças tecnológicas	23,7%
Boas práticas de operação	21,9%
Recuperação e reuso	20,1%
Regeneração e reuso	14,1%
Tratamento e disposição	4,9%

Tabela 3 - Resultados quantitativos das Oportunidades de P+L identificadas nos casos de P+L dos EUA, por ano.

Oportunidades de P+L	Ano												
	2003	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
	368 casos	*1 caso*	*24 casos*	*48 casos*	*15 casos*	*12 casos*	*7 casos*	*24 casos*	*15 casos*	*0 casos*	*4 casos*	*12 casos*	*2 casos*
Melhoria da imagem da empresa	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	N.D.	0,0%	0,0%	0,0%
Vantagem competitiva	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	N.D.	0,0%	0,0%	0,0%
Redução do risco para a saúde	3,4%	0,0%	3,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,6%	0,0%	N.D.	0,0%	0,0%	0,0%
Red. da emissão de gases de dep. da cam. de	2,4%	0,0%	3,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	N.D.	0,0%	0,0%	0,0%
Melhoria da qualidade do produto	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	8,3%	0,0%	0,0%	N.D.	0,0%	0,0%	0,0%
Redução do consumo de recursos naturais	1,7%	0,0%	0,0%	1,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	N.D.	0,0%	0,0%	0,0%
Redução do consumo de energia do produto	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	N.D.	0,0%	0,0%	0,0%
Redução da geração de odor	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	N.D.	0,0%	5,9%	0,0%
Redução da emissão de gás de efeito estufa	0,2%	0,0%	3,8%	0,0%	0,0%	0,0%	8,3%	10,7%	0,0%	N.D.	0,0%	5,9%	33,3%
Redução da emissão de poluentes gasosos	15,7%	0,0%	3,8%	10,9%	0,0%	15,4%	8,3%	32,1%	0,0%	N.D.	0,0%	11,8%	0,0%
Redução do consumo de matérias primas	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	6,3%	N.D.	0,0%	0,0%	0,0%
Redução do consumo de energia	1,9%	0,0%	3,8%	16,4%	0,0%	23,1%	50,0%	21,4%	12,5%	N.D.	0,0%	17,6%	33,3%
Redução da geração de efluentes	7,3%	0,0%	0,0%	3,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	N.D.	0,0%	5,9%	0,0%
Redução do consumo de insumos	5,8%	0,0%	7,7%	1,8%	0,0%	30,8%	0,0%	0,0%	0,0%	N.D.	0,0%	0,0%	0,0%
Redução do consumo de água	5,3%	0,0%	19,2%	7,3%	5,9%	7,7%	8,3%	3,6%	6,3%	N.D.	100,0%	17,6%	0,0%
Redução da geração de resíduos	54,2%	100,0%	53,8%	58,2%	94,1%	23,1%	16,7%	28,6%	75,0%	N.D.	0,0%	35,3%	33,3%

N.D.: informações não disponíveis.

Tabela 4 - Resultados quantitativos das Medidas de P+L adotadas nos casos de P+L dos EUA, por ano.

Medida de P+L	Ano												
	2003	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
	368 casos	*1 caso*	*24 casos*	*48 casos*	*15 casos*	*12 casos*	*7 casos*	*24 casos*	*15 casos*	*0 casos*	*4 casos*	*12 casos*	*2 casos*
Mudanças no produto	0,9%	0,0%	0,0%	0,0%	2,7%	0,0%	0,0%	3,3%	0,0%	N.D.	0,0%	5,3%	0,0%
Mudanças nos insumos	15,9%	0,0%	9,1%	14,3%	16,2%	7,7%	0,0%	10,0%	7,7%	N.D.	0,0%	10,5%	0,0%
Mudanças tecnológicas	23,8%	100,0%	15,2%	22,6%	8,1%	30,8%	33,3%	30,0%	34,6%	N.D.	100,0%	26,3%	40,0%
Boas práticas de operação	17,9%	0,0%	27,3%	34,5%	16,2%	30,8%	44,4%	26,7%	26,9%	N.D.	0,0%	31,6%	40,0%
Recuperação e reuso	20,7%	0,0%	18,2%	16,7%	29,7%	30,8%	0,0%	16,7%	23,1%	N.D.	0,0%	10,5%	20,0%
Regeneração e reuso	14,2%	0,0%	18,2%	10,7%	27,0%	0,0%	22,2%	13,3%	7,7%	N.D.	0,0%	15,8%	0,0%
Tratamento e disposição	6,6%	0,0%	12,1%	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	N.D.	0,0%	0,0%	0,0%

N.D.: informações não disponíveis.

As evidências de consideração da visão de ciclo de vida nos casos dos EUA estão presentes em poucos casos (6,2% do total) e parecem aumentar percentualmente a partir do ano de 2010, embora a distribuição desigual dos casos ao longo dos anos não permita uma análise mais precisa desta tendência. Os resultados são apresentados na Figura 27.

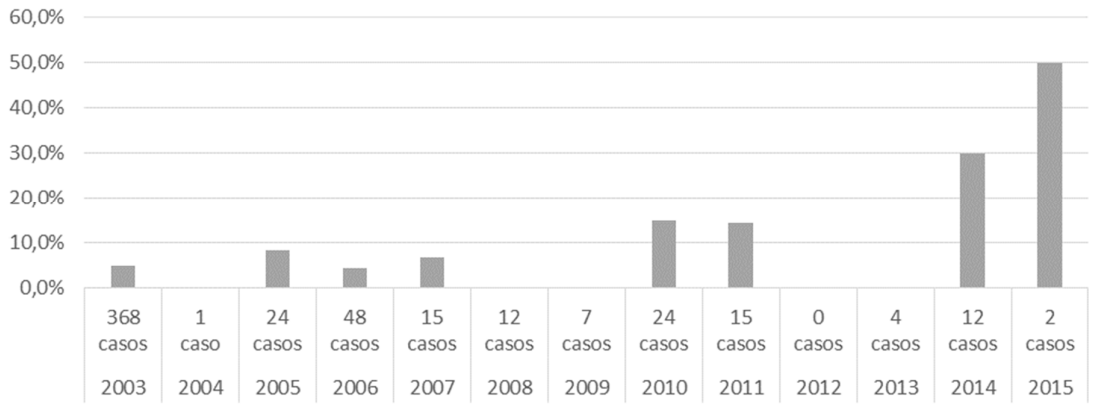


Figura 27 – Ocorrência de evidências de visão de ciclo de vida nos casos de P+L dos EUA, por ano.

Algumas das evidências da adoção da visão de ciclo de vida nos casos são:

- Atuação em parceria ou colaboração com os fornecedores para desenvolvimento ou identificação de insumos ou matérias-primas mais sustentáveis;
- Atuação em parceria ou colaboração com os fornecedores para identificação de oportunidades de recuperação ou regeneração e reuso (reciclagem), incluindo medidas de logística reversa entre a companhia e fornecedores;
- Modificações no produto incluindo modificações em suas partes, materiais ou embalagem, visando a redução dos impactos em seu ciclo de vida;
- Preocupação com a fase de descarte final de seu produto, buscando estimular medidas de reciclagem para demonstrar aos consumidores uma forma menos prejudicial de fim-de-vida para seu produto;
- Interesse em disseminar conhecimento sobre melhores práticas ambientais para outras companhias;
- Interesse em promover a educação ambiental de seus fornecedores, funcionários e consumidores;

- Inclusão da preocupação com aspectos ambientais no desenvolvimento de produtos, para redução de seus impactos na fase de uso e descarte;
- Inclusão da preocupação com aspectos ambientais no projeto de novas instalações, para redução em sua fase de construção e operação;
- Rastreamento de resíduos “do berço ao túmulo”;
- Adoção de abordagem holística e global ao lidar com os impactos ambientais de seus produtos e operações, incluindo simultaneamente a consideração de múltiplos impactos ambientais, sociais e econômicos no contexto global;
- Adoção de princípios de Economia Circular na gestão de seus aspectos e impactos, considerando toda a cadeia de valor;
- Adoção de indicadores de impactos globais, como Pegada de Carbono;
- Análise abrangente dos impactos da companhia para identificação de operações de maior impacto para o meio ambiente (*hotspot*).

Como já mencionado anteriormente, a não consideração dos impactos dos processos e alternativas de P+L ao longo do ciclo de vida pode ocasionar impactos iguais ou maiores. No caso nº356, por exemplo, tendo em vista os elevados impactos associados à etapa de limpeza de recipientes de armazenamento de insumos, a empresa preferiu realizar seu descarte direto, sem necessidade de limpeza para reaproveitamento. Na descrição do caso a empresa não deixa claro se analisou quais seriam os impactos desta medida para o ciclo de vida. A adoção desta medida sem os cuidados necessários pode promover a simples transferência da responsabilidade por estes impactos para outra etapa do ciclo de vida, o que ambientalmente pode ser tão prejudicial ou pior do que o processo original.

- **<u>Limitações</u>**

Para a análise dos casos de sucesso de P+L, foram utilizadas apenas as informações disponíveis nos documentos apresentados nos sites consultados. Nenhum dado adicional foi pesquisado e nenhum contato com as companhias citadas nos casos foi feito.

Devido à limitação do método de pesquisa, não se pode afirmar que os métodos de Engenharia e Gestão de Ciclo de Vida não foram utilizados nos casos, apenas que, na apresentação do caso, as empresas não explicitaram a adoção de tais métodos. Pode-se afirmar também que na grande maioria dos casos as empresas não apresentaram qualquer

tipo de preocupação com os impactos causados ao longo do ciclo de vida de seus produtos e processos, antes ou depois da implantação das medidas de P+L, embora devido às limitações do método, não se possa afirmar com certeza que a preocupação com o Ciclo de Vida estivesse realmente ausente.

3.4. A Produção mais Limpa e a Visão de Ciclo de Vida: uma Revisão Bibliográfica Sistemática

Esta sessão teve como objetivo identificar trabalhos que tenham abordado os temas "Produção mais Limpa" e "Visão de Ciclo de Vida" de forma integrada e, a partir dos trabalhos identificados, elaborar recomendações que possam auxiliar no processo de integração proposto neste trabalho. Isso foi feito com base em uma Revisão Sistemática da Literatura (RBS), cujos resultados são apresentados a seguir.

Após a realização das buscas seguindo-se o protocolo apresentado no APÊNDICE I – Protocolo da RBS: P+L e EGCV e os *strings* de busca apresentados no APÊNDICE II - Registro dos *strings* pesquisados na RBS, foram obtidas amostras resultantes de cada uma das bases pesquisadas. Os dados quantitativos desta etapa encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados quantitativos da primeira etapa de busca da RBS de P+L e EGCV.

	Número de trabalhos
[AMOSTRA Web of Knowledge]	253
[AMOSTRA Scopus]	344
[AMOSTRA Engineering Village]	245
[AMOSTRA Proquest]	246
Total	1088

A partir desta amostra inicial de 1088 trabalhos, foram aplicados os filtros I – Pertinência, II – Disponibilidade, duplicidade e idioma e III – Conteúdo, resultando nas amostras 1, 2 e 3, respectivamente. Os resultados quantitativos desta etapa encontram-se na Tabela 6.

A Amostra 3, composta por 51 trabalhos provenientes das quatro bases de dados pesquisados, representa a amostra final de estudos que foram analisados quanto a seu conteúdo integral, visando responder à questão da RBS. A lista completa dos trabalhos com compõe a amostra

final da RBS é apresentada no APÊNDICE IV – Lista completa dos trabalhos que compõe a amostra final da RBS de Produção mais Limpa e Ciclo de Vida.

Tabela 6 – Dados quantitativos da etapa de filtragem das amostras pelos filtros I, II e III.

	Número de trabalhos				
	WOK	**Scopus**	**Eng. Vil.**	**Proquest**	**Total**
Amostra Inicial	253	344	245	246	1088
Amostra 1	52	59	37	36	184
Amostra 2			74		74
Amostra 3			51		51

Os 51 trabalhos da amostra final foram submetidos aos critérios de classificação apresentados no APÊNDICE I – Protocolo da RBS: P+L e EGCV, que são: Método de P+L adotado; Prática da EGCV e Integração, e também foram analisados quanto a sua data de elaboração e sua fonte. Os resultados são apresentados a seguir.

A Figura 28 mostra a distribuição dos 51 trabalhos que constituem a amostra final da RBS ao longo dos anos.

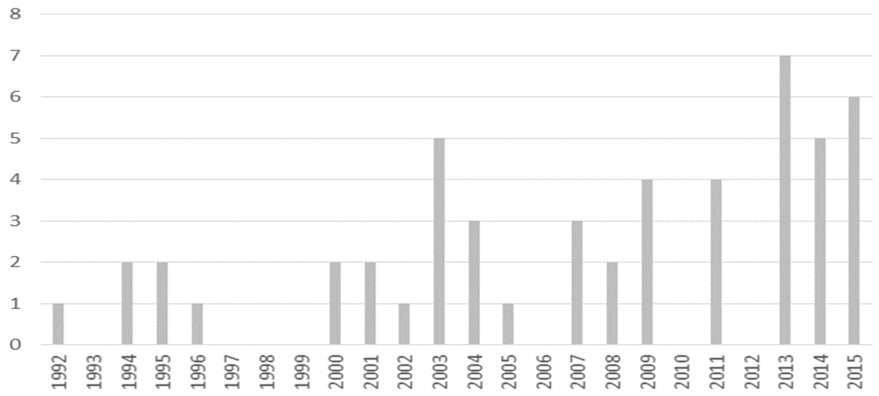


Figura 28 – Distribuição dos 51 trabalhos da amostra final da RBS ao longo dos anos.

Nota-se uma tendência de aumento no número de publicações que abordaram os dois temas de pesquisa de forma simultânea e integrada, em particular a partir dos anos 2000, quando a visão de ciclo de vida e adoção da visão holística passou a receber uma maior importância. Nota-se também uma grande ocorrência dos estudos em questão nos últimos três anos, o que reforça a pertinência e atualidade do tema pesquisado.

Com relação a sua fonte, destacam-se três revistas como fonte de trabalhos no tema, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – As três principais fontes de trabalhos identificados na amostra final da RBS.

Revista	Trabalhos
Journal of Cleaner Production	17
Journal of Hazardous Materials	3
The International Journal of Life Cycle Assessment	3

As principais fontes de trabalhos foram as revistas *Journal of Cleaner Production, Journal of Hazardous Materials e The International Journal of Life Cycle Assessment*, representando cerca de 50% da amostra total. Os demais trabalhos foram provenientes de outras fontes (com apenas 1 trabalho por fonte). Em destaque, encontra-se o *Journal of Cleaner Production*, com 33% do total de trabalhos identificados.

A maioria dos trabalhos não adotou nenhum método específico para gestão ou identificação de oportunidades de P+L (28 trabalhos). Apenas um dos trabalhos analisados (HOSSAIN; KHAN; HAWBOLDT, 2008) fez menção aos métodos de implantação de P+L apresentados pelos guias da UNEP e US EPA, que os autores usaram como base para desenvolvimento de seu próprio procedimento para prática da Prevenção da Poluição (IP2M). O restante dos trabalhos adotou as Ferramentas, métodos, procedimentos e técnicas de P+L apresentadas na Tabela 8.

A maioria dos métodos citados consiste em ferramentas para análise ou comparação de processos e para a identificação de oportunidades de melhoria. Não se tratam de ferramentas para a gestão da Produção mais Limpa, que inclui planejamento, organização, balanço de massa, identificação de oportunidades, análise de viabilidade e um plano de implantação, segundo uma estratégia de melhoria contínua, como proposto nos Guias de P+L. Tratam-se, portanto de ferramentas para a realização atividades específicas da P+L.

Tabela 8 - Ferramentas, métodos, procedimentos e técnicas de P+L adotadas nos trabalhos identificados na RBS.

Ferramentas, métodos, procedimentos e técnicas de P+L	Número de ocorrências
Algorítimos de otimização de multivariáveis	1
Análise de Risco (AR)	1
Balanço de massa e energia	3
Best Available Tachnique (BAT)	3
Chemical Process Simulation for Waste Reduction (WAR)	1
Cleaner Production Schemes and Audits	1
Energy Assessment Spreadsheet (EAS)s	1
Environmental Evaluation Method	1
Green Engineering	1
Green Productivity	1
GreenPro	1
GreenPro-I	1
Indiana Relative Chemical Hazard Score (IRCHS)	1
IP2M	1
IPPC	1
Matriz quantitativa com indicadores técnicos e econômicos	1
Melhoria na produtividade de recursos	1
P2 calculator	1
Pollution Prevention Opportunity Assessment (PPOA)	2
Pollution Prevention Progress (P2P)	1
Risk-Screening Environmental Indicators (RSEI)	1
Scorecard Risk Scoring System (SRSS)	1
Software de Product data management (PDM)	1
Três níveis de mudança de P+L	1

Com relação às práticas da EGCV adotadas, o grande destaque é para a adoção da Avaliação de Ciclo de Vida formal segundo as normas ISO 14040, conforme mostra a Tabela 9. A ocorrência da adoção da ACV “pré-ISO 14040” refere-se às Avaliação de Ciclo de Vida realizadas anteriormente à ISO 14040, e ocorrem até o início dos anos 2000, quando as normas de ACV passaram a ser mais difundidas.

A Tabela 10.apresenta as formas de integração das práticas da EGCV na P+L utilizadas nos trabalhos identificados na RBS.

Tabela 9 – Práticas da EGCV adotadas nos trabalhos identificados na RBS.

Prática da EGCV	Número de ocorrências
ACV "pré-ISO 14040"	8
ACV ISO 14040	35
Análise de Fluxo de Materias e Energia (AFME)	1
ASCV (Avaliação Social do Ciclo de Vida)	1
CCV	2
Input Output Life Cycle Assessment (EIOLCA)	2
LCA Decision	1
Matriz quantitativa com indicadores técnicos e econômicos	1
Método sistemático para ingração de questões ambientais nas etapa do desenvolvimento, com base em um modelo mátemático de decisões	1
Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts (TRACI)	1
Visão de ciclo de vida	2

Tabela 10 – Formas de integração das práticas da EGCV na P+L utilizadas nos trabalhos identificados na RBS.

Integração	Número de ocorrências
ACV com foco nas melhorias em produto	4
ACV para comparar alternativas de P+L	17
ACV para identificação de oportunidades de P+L	7
Análise multi-critério (Promethee, MAUT, AHP)	1
Combinação de ferramentas de P+L e ciclo de vida	3
Engineering Trade-Offs Methodology (ETO)	1
Framework para fusão de métodos de soft computing, lógica fuzzy e ACV para tomada de decisões	1
GreenPro	1
GreenPro-I	1
ICV para comparar alternativas P+L	1
ICV para identificação de oportunidades de P+L	1
Integração de ferramentas de P+L e Ciclo de Vida para comparação de alternativas	3
IP2M	1
Life cycle indexing system — LInX	1
Matrix (quantitativa) de ACV para caracterizar melhorias em processo	1
Matriz de ICV para caracterizar melhorias em processo	1
Mecanismos de pontuação atrelado a análise multicritério	1
Método de avaliação de Green Productivity que integra ACV e análises de decisões multicritérios (processo de hierarquia analítica PHA)	1
Método qualitativo de ACV com foco no desenvolvimento de produtos e processos	1
Método sistemático para ingração de questões ambientais no design de processo, com base em um modelo mátemático de decisões	1
Modelo de melhoria ambiental baseado em performance usando Structural Equation Modeling	1
Modelos de otimização matemática	1
Pollution Prevention Progress (P2P)	1
Total Environmental Evaluation Method and Index	1

Para a integração das práticas da EGCV identificadas às melhorias ambientais em processos, a maioria dos trabalhos utilizou a Avaliação de Ciclo de Vida visando a identificação de oportunidades de Produção mais Limpa ou a comparação entre alternativas de P+L.

Também foram utilizadas Avaliações de Ciclo de Vida nas melhorias em produtos, o que embora faça parte do escopo da Produção mais Limpa, não é o foco do presente trabalho, que busca atuar nas melhorias em processo.

Diversos trabalhos tiveram como foco o design de processos, como é o caso de Cunan (1995), Curran e Schenck (2001), Khan, Natrajan e Revathi (2001), Khan, Sadiq e Husain (2002), Pennington at al. (2003), Thurston e Srinivasan (2003), Khan, Sadiq e Veitch (2004) e Bonvoisin et al. (2013). Nestes trabalhos, os autores reconhecem a necessidade de se inserir fatores ambientais no *design* de processos por meio de uma abordagem holística onde são levados em conta os impactos dos processos ao longo do ciclo de vida.

Muitos dos trabalhos buscaram desenvolver ou modificar métodos e ferramentas para auxiliar no processo de tomada de decisão quando se lida com múltiplas variáveis simultaneamente, o que ocorre por exemplo quando se busca a otimização ambiental em processos produtivos.É o caso dos trabalhos de Stone (2000), Curran e Schenck (2001), Khan, Natrajan e Revathi (2001), Khan, Sadiq e Husain (2002), Thurston e Srinivasan (2003), Woldt, Dvorak e Dahab (20030, Khan, Sadiq e Veitch (2004), Pineda-Henson e Culaba (2004), Khalili, Ehrlich e Eddine (2013), Khoshnevisan at al. (2015) e Yilmaz, Anctil e Karanfil (2015) e Zhang et al. (2015).

Alguns dos trabalhos buscaram desenvolver seus próprios métodos para identificação ou avaliação de melhorias preventivas em processos, como é o caso dos trabalhos de Khan, Natrajan e Revathi (2001) e Khan, Sadiq e Husain (2002), onde foi desenvolvido o método GreenPro, posteriormente atualizado para o GreenPro-I, que tem como objetivo auxiliar o design de processos mais limpos, adotando uma abordagem de ciclo de vida. Hossain, Khan e Hawboldt (2008) desenvolveram o método IP2M, baseado nos modelos de Prevenção da Poluição da US EPA integrado à avaliação de ciclo de vida do berço ao portão, para identificação das oportunidades de prevenção mais viáveis. O *Life Cycle Indexing System* (LInX), desenvolvido por Khan, Sadiq e Veitch (2004), é um sistema de indexação ambiental que incorpora a ACV para auxiliar a tomada de decisão na avaliação e design de produtos e processos.

3.5. Conclusões parciais e recomendações

A seguir são apresentadas a considerações finais e conclusões acerca dos diversos tópicos abordados neste capítulo, bem como as recomendações extraídas.

- **Teoria:**
- A adoção de uma abordagem preventiva frente aos impactos ambientais resultante das atividades humanas, chamada de Produção mais Limpa ou Prevenção da Poluição, surgiu no final da década de 1980. Além de seu caráter preventivo, a Produção mais Limpa caracteriza-se como uma estratégia de melhoria contínua e abrangente, incluindo melhorias em produtos, processos e serviços, embora seu foco principal sejam as melhorias em processos. Os benefícios da P+L vão além dos benefícios ambientais, incluindo benefícios econômicos associados à redução dos desperdícios.
- Na prática, o conceito de Produção mais Limpa se traduz em um processo bem estruturado e sistemático para análise, identificação e gestão de oportunidades de melhorias, comumente dividido em cinco etapas: Planejamento e Organização; Pré-avaliação; Avaliação; Estudo de Viabilidade e Implantação. Embora possa considerar melhorias preventivas em processos, produtos e serviços, seu foco principal são as melhorias em produtos.
- A falta de informações claras, organizadas e quantitativas das empresas sobre os impactos de seus processos e seus custos associados é uma das principais barreiras para a implantação da Produção mais Limpa.
- Existem diversos tipos de medidas preventivas que podem ser implantadas na Produção mais Limpa, que podem ser mais ou menos preventivas, sendo as mais preventivas preferíveis ambientalmente, por atuarem mais diretamente na fonte geradora dos impactos.
- **Guias:**
- Em todos os guias, uma introdução teórica sobre Produção mais Lima é apresentada. Esta contextualização é importante, por exemplo, para a obtenção do comprometimento da gerência, da equipe de P+L e dos funcionários, e pode ser usada para a elaboração de materiais de treinamento e divulgação.

- Alguns dos guias encorajam os leitores a irem além do que é apresentado no texto, porém, não fornecem muitos materiais complementares que possam ser utilizados para esse fim.
- Os guias de Produção mais Limpa disponíveis são bastante antigos, sendo que o mais recente dos guias analisados já tem mais de dez anos. Em um campo como a gestão ambiental, que está em constante mudança, os guias acabam se tornando desatualizados e, portanto, tornam-se necessários novos guias atualizados.
- Alguns dos guias analisados sequer mencionam a necessidade de se considerar o ciclo de vida dos produtos, processos e melhorias envolvidos na Produção mais Limpa como os guias da CETESB (2002) e CEBDS (s.d.).

RECOMENDAÇÃO 1: *Inclusão de uma revisão teórica sobre a Visão de Ciclo de Vida, por meio de materiais como Remmen, Jensen e Frydendal (2007), Remmen e Münster (2003), UNEP/SETAC (2009), UNEP (2004).*

- Alguns dos guias analisados mencionam a necessidade de se adotar a visão de ciclo de vida, mas apenas no desenvolvimento e alterações em produtos e não necessariamente nas melhorias em processos produtivos. Para produtos, o foco é a redução nos impactos ao longo do ciclo de vida, mas para os processos, o foco acaba sendo a redução dos impactos diretos das operações, limitados às fronteiras ou arredores das empresas. O guia modelo, da COWI (2000), afirma que, embora a P+L possa ser expandida para atuar ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos, ela é geralmente aplicada na etapa de produção.

RECOMENDAÇÃO 2: *Adoção da Visão de Ciclo de Vida na Produção mais Limpa, não apenas limitada a produtos, mas também nas melhorias em processos.*

- Embora vários dos guias de P+L analisados deixem clara a importância de se adotar uma perspectiva de ciclo de vida na análise dos impactos ambientais, a maioria deles não oferecem aos usuários ferramentas, métodos, técnicas ou procedimentos que os auxilie nesta tarefa.
- Alguns dos guias fazem menção à Avaliação de Ciclo de Vida como uma ferramenta que pode ser usada juntamente com a Produção mais Limpa, mas não deixam claro como esta avaliação deve ser conduzida, como deverão ser definidos seu objetivo e

seu escopo e, principalmente, como os resultados da ACV poderão ser usados para promover melhorias ambientais em processos no contexto da P+L.

- Os guias do SENAI – RS (2003) e CNTL (2003) afirmam que durante a avaliação ambiental do estudo de viabilidade, é necessária a consideração dos benefícios ambientais ao longo de todo o ciclo de vida. Para isso, os autores distinguem entre três níveis para a avaliação ambiental: (1) avaliação simples; (2) avaliação profunda e (3) simples avaliação do ciclo de vida, sendo que uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) formal e completa nem sempre será necessária. Porém, os autores não deixam claro como o usuário deve decidir qual nível de avaliação será adequado em seu caso e como realizar estas avaliações.

RECOMENDAÇÃO 3: *Expansão do escopo da análise dos impactos ambientais, que não deve ser limitado às fronteiras da empresa, por meio de uma avaliação do ciclo de vida que pode ser:*

- *Avaliação simples, qualitativa;*
- *Avaliação profunda, quali-quantitativa;*
- *Avaliação de Ciclo de Vida Completa (ISO 14040), quantitativa.*

A decisão da profundidade da análise deve ser baseada em:

- *Disponibilidade de dados;*
- *Disponibilidade de recursos;*
- *Aplicação pretendida.*

Materiais auxiliares: ICCA (2013)

- O guia do SENAI – RS (2003), sugere como uma boa prática, o uso de produtos de que tenham seu ciclo de vida conhecido.

RECOMENDAÇÃO 4: *Preferência, quando possível, para uso de materiais e processos que tenham seu ciclo de vida conhecido.*

- A hierarquização das oportunidades de P+L é feita com base principalmente em critérios econômicos, técnicos e ambientais. US EPA (1994) sugere que sejam

priorizadas oportunidades de baixo custo e alto impacto e fornece um guia adicional para auxiliar nesta análise (US EPA, 1995).

RECOMENDAÇÃO 5: *Adoção de um procedimento de hierarquização para implantação das oportunidades de Produção mais Limpa que leve em conta simultaneamente aspectos técnicos, econômicos e, principalmente ambientais, considerando-se todo o ciclo de vida, com base em:*

- *Classificação de LaGrega, Buckingham e Evans (1994) das medidas preferíveis de P+L;*
- *Ferramentas de análise de custo-benefício. Material auxiliar: US EPA (1995).*

- **Casos de P+L:**
- A identificação de oportunidades de P+L está frequentemente associada a fatores econômicos referentes ao custo da mitigação dos impactos ambientais resultantes do desperdício, como os custos do tratamento e disposição de resíduos, ou ao custo produtivo evitado, como os custos com a aquisição de matéria-prima ou insumos que seriam convertidos em resíduos.
- Um outro tipo de fator econômico considerado em poucos casos é o valor ambiental associado à sustentabilidade da companhia, seja como resultado na melhoria da imagem da empresa ou pelo ganho de vantagens competitivas. Conforme demonstrado em alguns dos casos analisados, a consideração do valor associado à sustentabilidade coorporativa auxilia na identificação de oportunidades de Produção mais Limpa e na quantificação dos benefícios atingidos por sua implantação.

RECOMENDAÇÃO 6: *Consideração dos ganhos associados à sustentabilidade da companhia, como aumento da vantagem competitiva ou melhoria na imagem da empresa, na quantificação dos benefícios ambientais e econômicos das oportunidades de Produção mais Limpa identificadas. Materiais auxiliares: KPMG (2011), UNEP FINANCE INITIATIVE; WBCSD, (2010).*

- A colaboração e relação próxima entre clientes e fornecedores é uma das práticas presentes em diversos dos casos analisados. Esta prática é benéfica do ponto de vista do Ciclo de Vida, pois permite uma maior difusão das informações sobre os impactos e benefícios ocasionados ao longo do ciclo. Além disso, o “mau relacionamento” com

os fornecedores pode ser uma das barreiras para a P+L, dificultando a obtenção de informações ambientais sobre seus produtos (UNEP/SETAC, 2009). Segundo Remmen, Jensen e Frydendal (2007), quando uma empresa passa a buscar informações ambientais de seus fornecedores, eles se tornam mais favoráveis a buscar também informações de seus fornecedores, disseminando esta prática ao longo da cadeia de valores (REMMEN; JENSEN; FRYDENDAL, 2007). Portanto, a boa relação é benéfica em todos os sentidos.

- O desenvolvimento de soluções ambientais em parceria com os fornecedores é uma prática frequente nos casos estudados que contribui para a Visão de Ciclo de Vida expandindo o escopo de atuação das empresas.
- A relação próxima entre clientes e fornecedores também proporciona a difusão das boas práticas, como a própria adoção da Produção mais Limpa e da Visão de Ciclo de Vida, o que pode ser feito por meio de divulgação de relatórios, realização de treinamentos, estabelecimento de critérios ambientais, auditorias, entre outros.

RECOMENDAÇÃO 7: *A empresa que pratica a Produção mais Limpa deve buscar a colaboração e atuação próxima de seus fornecedores e clientes proporcionando:*

- *Difusão de informações e dados sobre o desempenho ambiental dos processos e produtos ao longo de seu ciclo de vida;*
- *Difusão sobre boas práticas, inclusive a P+L, por meio de treinamentos e material de divulgação.*

*Material de apoio: (REMMEN; JENSEN; FRYDENDAL, 2007), (*UNEP/SETAC, 2009)

- Diversos casos dos EUA buscaram atuar em toda a cadeia de valor por meio da adoção de princípios de Compras Verdes (*Green Purchase*), de Cadeia de Suprimentos Verde (*Green Supply Chain*) e de Economia Circular.

RECOMENDAÇÃO 8: *Atuação em toda a cadeia de valores por meio da aplicação dos conceitos de Compras Verdes e Gestão da Cadeia de Suprimentos Verde. Material de apoio: (INTERNATIONAL GREEN PURCHASING NETWORK, 2010), (UNEP, 2013), (BEAMON, 1999)*

- Diversos casos dos EUA também buscaram uma atuação próxima a seus consumidores com o estímulo ao consumo consciente e à reciclagem, programas de re-manufatura

onde a empresa compra os produtos usados do consumidor e os usa como fonte de matéria-prima reciclada e logística reversa.

RECOMENDAÇÃO 9: *Estabelecimento de um canal de comunicação com consumidores para transferência de informações sobre o desempenho ambiental da empresa e melhores práticas na etapa de uso e descarte dos produtos. Material auxiliar: (THORSTEINSDOTTIR, 2015), (G.R.I., 2015), (DALAL-CLAYTON; BASS, 2002)*

- Uma boa prática citada em um dos casos e que pode ser muito interessante para a adoção da Visão de Ciclo de Vida é o uso de Indicadores de Impactos Globais, como por exemplo, a Pegada de Carbono.

RECOMENDAÇÃO 10: *Adoção de indicadores globais de desempenho ambiental como Pegadas (água, carbono, etc.).*

- Como apontado na análise dos Guias de P+L, a consideração dos impactos no ciclo de vida está mais associada às mudanças em produtos, e não em processos. Embora a Produção mais Limpa seja aplicável tanto a processos como a produtos e serviços, na prática a grande maioria dos casos de sucesso da aplicação desta estratégia estão voltados para as melhorias em processos produtivos.
- A consideração de fatores ambientais regionais ou setoriais na identificação de oportunidades de P+L é uma prática importante para atender às demandas ambientais dos *stakeholders*, por exemplo, pela conservação da água em regiões de stress hídrico ou pela redução do consumo de energia em indústrias de elevada demanda energética.
- Embora as considerações regionais e setoriais sejam importantes, deve ter em mente sempre que a transferência da responsabilidade ambiental por um impacto pode ser muito prejudicial e por vezes até pior do que o cenário inicial. A visão de ciclo de vida desempenha um papel importante na análise das oportunidades de P+L pois busca evitar que a transferência de responsabilidade ocorra sem que haja um benefício ambiental.
- A adoção da Produção mais Limpa por companhias pode ocorrer de diferentes formas, motivada por diversos fatores e atingindo diferentes graus de maturidade. É essencial, porém, que seja feita com base na melhoria contínua para se tornar cada vez mais

abrangente e madura, buscando as medidas mais preventivas e a consideração da visão de ciclo de vida.

- Dentre os diversos tipos de medidas de Produção mais Limpa, os tipos mais preventivos são favoráveis e devem ser buscados, sempre que possível. Entretanto, em poucos casos fica evidente uma preocupação com a adoção de medidas mais preventivas. Uma exceção é o caso nº272 dos EUA, onde os autores evidenciam a adoção de uma hierarquia para a seleção das medidas: primeiro a caracterização, depois eliminação do que era possível, reciclar diretamente o que podiam e reciclar mediante tratamento, para, por fim, só descartar o que era necessário.
- Todos os casos estudados referem-se à Produção mais Limpa como melhorias pontuais em produtos e processos, e não como um método sistemático de identificação e gestão de melhorias preventivas, como defendido nos Guias da P+L.
- **RBS P+L e CV:**
- O resultado da RBS mostrou que a integração da visão de ciclo de vida nas melhorias ambientais preventivas em processos é um tema relevante e atual, que tem se expandido à medida que o campo da Engenharia e a Gestão do Ciclo de Vida se desenvolve a que a consideração da Visão de Ciclo de Vida se torna cada vez mais essencial para uma adequada gestão ambiental de produtos, processos e serviços. A grande ocorrência de estudos nos últimos três anos reforça a pertinência e atualidade do tema pesquisado
- A adoção da postura preventiva na redução dos impactos ocasionados pela manufatura, por meio da Produção mais Limpa, Prevenção da Poluição ou formas análogas de prevenção, começou a ganhar força na década de 1990 e ainda se mostra importante no contexto atual, com a publicação de trabalhos sobre o tema. Nota-se um aumento das publicações que abordam os deis temas de forma integrada, em particular a partir dos anos 2000 quando a visão de ciclo de vida e adoção da visão holística passou a receber uma maior importância.
- Uma importante fonte de informações sobre os temas discutidos é o *Journal of Cleaner Production*, que concentrou um terço dos trabalhos identificados na RBS.

- Embora existam diversos métodos e publicações voltados para auxiliar os praticantes da P+L na sua implantação de forma sistemática e estruturada (os chamados Guias de P+L, apresentados nas sessões anteriores), apenas um dos trabalhos identificados na RBS fez uso destes métodos.
- A maior parte dos trabalhos analisados não fez uso de ferramentas, métodos, procedimentos e técnicas de P+L. Grande parte dos trabalhos analisados fizeram uso de ferramentas, métodos, procedimentos e técnicas de P+L que tem como foco principal a identificação ou avaliação de oportunidades de P+L, e não a gestão sistemática das melhorias preventivas em processos, com base na melhoria contínua, como defendem as principais referências no tema, UNEP e US – EPA.
- A aplicação da Produção mais Limpa na forma de melhorias pontuais, e não como um método sistemático de gestão, é um tema que precisa ser mais estudado e, portanto, recomenda-se que trabalhos futuros abordem esta questão.
- A principal prática da EGCV é a Avaliação de Ciclo de Vida, que vem sendo utilizada de diversas formas para identificação e análise de oportunidades de melhorias em processos. Embora este seja um método bem estabelecido para avaliação do ciclo de vida no contexto das melhorias em processo, muitas lacunas ainda precisam ser preenchidas como: desenvolvimento de métodos simplificados para atender a usuários e situações onde os recursos são limitados, continuidade do desenvolvimento de métodos de Avaliação dos Impactos e Interpretação, desenvolvimento de métodos adequados a situações (como setores ou etapas do ciclo de vida) específicas. Diversas práticas de EGCV identificadas na RBS ajudam a suprir estas lacunas.

RECOMENDAÇÃO 11: *Uso da Avaliação de Ciclo de Vida para a identificação, análise e comparação de oportunidades de P+L.*

- A adoção da perspectiva de ciclo de vida nas melhorias ambientais em processos é uma necessidade reconhecida por diversos autores e busca evitar que os impactos ambientais ocasionados pela manufatura sejam passados para outros meios, que impactos mais severos sejam acarretados em outras etapas do ciclo e que a responsabilidade pelos impactos seja transferida. Este novo paradigma na gestão das melhorias em processos, porém, acarreta no aumento do volume e complexidade das

informações a serem analisadas e no surgimento de diversos *trade-offs*. Neste cenário, os métodos e ferramentas para tomada de decisões envolvendo múltiplos critérios, identificados nesta RBS, são essenciais e podem contribuir, especialmente, na etapa de análise da viabilidade e hierarquização das medidas de P+L levantadas.

RECOMENDAÇÃO 12: *Adoção de métodos, ferramentas, softwares e modelos matemáticos que auxiliem a tomada de decisão envolvendo múltiplos critérios nas etapas de Estudo de Viabilidade e Planejamento e Organização da P+L. Material de apoio: (KHAN; NATRAJAN; REVATHI, 2001), (WOLDT; DVORAK; DAHAB, 2003), (PINEDA-HENSON; CULABA, 2004), (GELDERMANN; RENTZ, 2005), (KHALILI; EHRLICH; EDDINE, 2013), (KHOSHNEVISAN et al., 2015)*

- Diversos trabalhos tiveram como foco o design de processos, por reconhecerem a necessidade de incorporação de fatores ambientais, juntamente aos tradicionais fatores técnicos e econômicos, por meio de uma abordagem holística onde são levados em conta os impactos dos processos ao longo do ciclo de vida.

RECOMENDAÇÃO 13: *Aplicação de ferramentas de avaliação de ciclo de vida ao design de novos processos que sejam mais limpos desde seu projeto. Material de apoio: (ALLEN, 1994), (CUNAN, 1995), (KHAN; SADIQ; HUSAIN, 2002), (CURRAN; SCHENCK, 2001), (KHAN; NATRAJAN; REVATHI, 2001), (PENNINGTON et al., 2003), (THURSTON; SRINIVASAN, 2003), (KHAN; SADIQ; VEITCH, 2004), (BONVOISIN et al., 2013)*

- Alguns dos trabalhos buscaram desenvolver seus próprios métodos para identificação ou avaliação de melhorias preventivas em processos e para a o design de processos sustentáveis como o GreenPro-I, que tem como objetivo auxiliar o design de processos mais limpos, adotando uma abordagem de ciclo de vida; o método IP2M, baseado nos modelos de Prevenção da Poluição da US EPA integrado à avaliação de ciclo de vida do berço ao portão, para identificação das oportunidades de prevenção mais viáveis e o *Life Cycle Indexing System (*LInX), um sistema de indexação ambiental que incorpora a ACV para auxiliar a tomada de decisão na avaliação e design de produtos e processos.

RECOMENDAÇÃO 14: *Aplicação de ferramentas de avaliação de ciclo de vida voltada para a análise de processos. Material de apoio: (KHAN; NATRAJAN; REVATHI, 2001), (KHAN; SADIQ; VEITCH, 2004), (KHAN; SADIQ; VEITCH, 2004), (HOSSAIN; KHAN; HAWBOLDT, 2008)*

4. ENGENHARIA E GESTÃO DO CICLO DE VIDA

Nesta sessão são apresentados a revisão da literatura referente aos temas Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida nos tópicos 4.1 Visão de ciclo de vida, 4.2 Gestão do Ciclo de Vida (GCV) e 4.3 Engenharia do Ciclo de Vida (ECV), bem como os resultados do levantamento de práticas da EGCV no tópico 4.4 Práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo De Vida.

4.1. Visão de ciclo de vida

Nos últimos anos tem sido observada uma mudança de paradigma na abordagem para se atingir a sustentabilidade, com a adoção de uma postura mais holística por parte dos governos e empresas frente aos impactos ambientais. Neste novo cenário, passam a ser considerados todos os impactos ocasionados ao longo do ciclo de vida ou cadeia de valor dos produtos, com a adoção da chamada de Visão de Ciclo de Vida (VCV) ou *Life Cycle Thinking* (LCT) (LÖFGREN; TILLMAN; RINDE, 2011; UNEP, 2004).O ciclo de vida de um produto é composto por todas as fases desde a extração de suas matérias-primas até sua disposição final e todas estas fases resultam em impactos ambientais, conforme ilustrado na Figura 29.

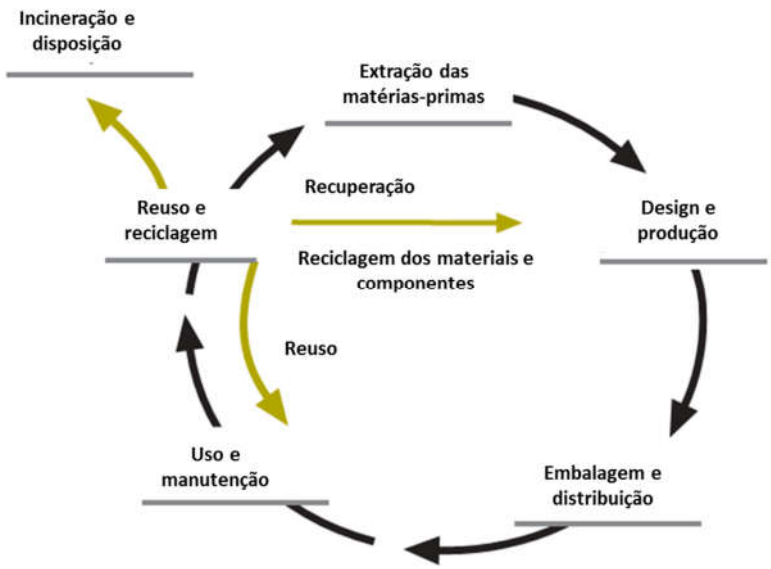


Figura 29 – O Ciclo de vida de produto e suas alternativas de fim de vida (REMMEN; MÜNSTER, 2003)

Na maior parte dos casos, o ciclo de vida de um produto pode ser dividido de acordo com cinto estágios:

- Matéria-prima: obtenção das matérias-primas necessárias para produção do bem ou serviço;
- Produção: conversão das matérias-primas e montagem das partes do produto;
- Distribuição: distribuição do produto até seu consumidor final;
- Uso: etapa na qual o consumidor fina faz uso direto da função pretendida do produto ou serviço;
- Fim de Vida: destinação final do produto quando o ao término de sua vida útil.

O ciclo de vida de um produto tem início na extração de suas matérias-primas. Materiais e energia são obtidos a partir do meio ambiente e empregados em sistemas produtivos que têm como objetivo a obtenção de um produto para desempenhar uma função específica. Todos os sistemas de envolvidos como transporte, reciclagem, reuso e remanufatura fazem parte do ciclo de vida do produto. Por fim, as estratégias para fim de vida do produto também estão envolvidas, isto é, o tratamento e disposição final do produto (UNEP, 2004).

Muitos referem-se à abordagem de ciclo de vida como “do berço ao túmulo” pois considera-se a vida de um produto desde a obtenção das matérias-primas (berço), até sua destinação final (túmulo). Outro termo adotado é “do berço ao berço”, que considera uma visão mais cíclica do ciclo de vida, onde os produtos são pensados para serem reaproveitados ao fim de sua vida útil, por meio da reutilização ou reciclagem. A Figura 30 apresenta de forma esquemática estas duas formas de se pensar no ciclo de vida de produtos.

O objetivo da Visão de Ciclo de Vida é evitar que a responsabilidade ambiental seja simplesmente transferida para outros atores do ciclo, por meio da análise dos impactos causados pelo consumo de recurso e geração de impactos ambientais, econômicos e sociais, buscando reduzir o consumo de recursos e emissões para o ambiente de produtos e serviços, além de melhorar o desempenho socioambiental ao longo de seu ciclo de vida (SONNEMANN et al., 2015; REMMEN; JENSEN; FRYDENDAL, 2007).

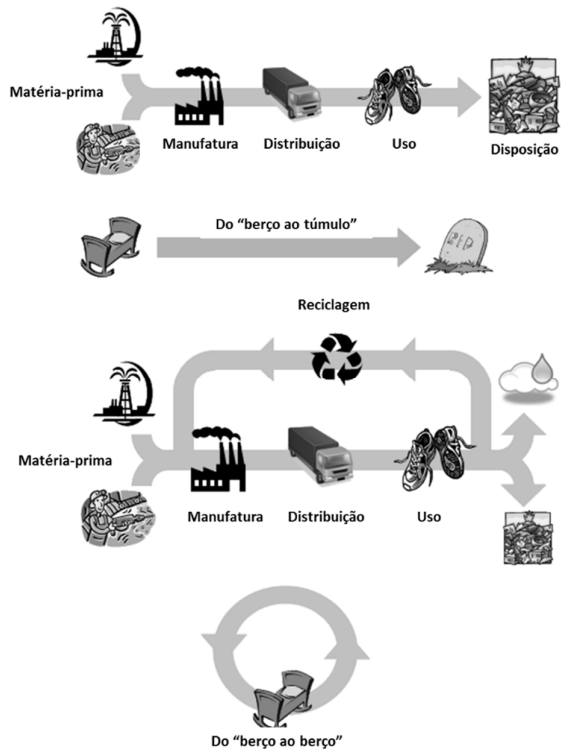


Figura 30 – Abordagens do "berço ao túmulo" e do "berço ao berço" (LEHTINEN et al., 2011).

A VCV possibilita que as melhorias ambientais promovidas em um estágio do ciclo de vida não causem impactos ambientais ainda maiores em outro estágio do ciclo de vida e possibilita às companhias ver qual é a influência de suas escolhas relacionadas à sustentabilidade e, com esta informação em mãos, tomar decisões conscientes de forma a balancear os *trade-offs* positivamente para a economia, ambiente e sociedade (SONNEMANN et al., 2015).

Dentro do contexto da Visão de Ciclo de Vida, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é apenas mais uma ferramenta de tomada de decisão, embora seja sem dúvida uma das mais importantes (SONNEMANN et al, 2015). Segundo Wenzel, Hauschikd e Alting (1997), a história da Avaliação do Ciclo de Vida tem suas raízes no final dos anos 1960 e início dos anos 1970, uma época que as preocupações ambientais eram particularmente focadas na escassez de recursos naturais.

Os primeiros estudos deste tipo foram realizados nos Estados Unidos para embalagens de bebidas, porém, sem uma avaliação quantitativa dos impactos ambientais, uma vez que muitos dos impactos ambientais ainda estavam sendo descobertos. Ao longo da década de

1970, esta abordagem de ciclo de vida não esteve em foco, sendo trazida à tona novamente apenas nos anos 1980, na Europa, com as atenções públicas voltadas para a questão do uso intensivo de recursos para a embalagem de produtos (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997).

Os resultados divergentes dos primeiros estudos comparativos da avaliação ambiental de produtos deixaram evidente a necessidade de se criar uma metodologia robusta e de consenso internacional para a avaliação de ciclo de vida. A Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental (SETAC) passou a sediar uma comunidade global de Avaliação do Ciclo de Vida nos anos de 1990. Paralelamente, a Organização Internacional para Padronização (ISO) deu início a um processo global de padronização da avaliação do ciclo de vida, desenvolvendo quatro padrões para a avaliação de ciclo de vida (ISO 14040 – 14043) (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997).

Um dos aspectos mais importantes na adoção da Visão de Ciclo de Vida das companhias é que elas devem estar dispostas a irem além de suas fronteiras organizacionais, expandindo seu escopo de atuação e colaboração por meio da interação com todos os *stakeholders* em sua cadeia de valores (SONNEMANN et al., 2015). Para tornar possível esta expansão seu escopo de atuação a comunicação e a transparência são essenciais e podem ser atingidas por meio de Contabilidade Verde, relatórios ambientais anuais, relatórios de sustentabilidade, declarações ambientais de produtos, indicadores de desempenho ambiental para produtos, perfis de produtos, diretrizes para contratos públicos verdes, publicações voltadas para consumidores, rotulagem ambiental, campanhas de informação, códigos de conduta para fornecedores, auditorias de fornecedores ou sistemas de avaliação (SONNEMANN et al., 2015).

Outro importante aspecto para a adoção da Visão de Ciclo de Vida é o comprometimento da alta gerência. Diversos fatores podem influenciar a adoção da VCV por companhias, como estratégias de negócios, oportunidades de mercado, requisitos financeiros, legislações, acordos internacionais; porém, a Visão de Ciclo de Vida somente se tornará parte da companhia se houver o comprometimento da alta gerência (SONNEMANN et al., 2015).

O comprometimento da alta gerência se traduz na criação de políticas e estratégias de curto e longo prazo, que por sua vez tornarão possível a disponibilização de recursos para a as iniciativas ambientais, inclusive para treinamentos; a elaboração de objetivos estratégicos de sustentabilidade para a organização; a comunicação explícita dentro e fora da organização e

o pleno envolvimento de todos os funcionários para se implantar e desenvolver as ações necessárias (SONNEMANN et al., 2015).

A evidenciação dos benefícios econômicos da adoção da Visão de Ciclo de Vida é essencial para que o comprometimento da alta gerência seja possível. Os benefícios econômicos podem ocorrer de diversas formas a partir da Visão de Ciclo de Vida: redução dos gastos com penas e multas por meio de uma melhor identificação de riscos e oportunidades; maior eficiência no uso de recursos; aumento da vantagem competitiva por meio da inovação, valor da marca e posicionamento estratégico no mercado (SONNEMANN et al., 2015).

De acordo com Goedkoop et al. (2015), há cerca de uma década a popularidade da abordagem do tipo "do berço ao berço" aumentou significativamente. Atualmente, porém, esta abordagem parece estar sendo superada pela chamada Economia Circular. Ambas se caracterizam como métodos pouco concretos, para as quais não existem normas ISO e que não seguem regras precisas, ao contrário da abordagem do "berço ao túmulo" da Avaliação de Ciclo de Vida formal.

A Economia Circular é mais do que um método de avaliação, é uma visão do futuro que se almeja (GOEDKOOP et al., 2015). Nesta nova abordagem, busca-se transformar modelos lineares em modelos circulares de produtos. Porém, muitos dos benefícios ambientais não são analisados de forma aprofundada, não deixando totalmente claro quais são de fato os méritos ambientais (GOEDKOOP et al., 2015).

Segundo Ellen Macarthur Foundation (2015), a Economia Circular busca reconstruir o capital, seja ele financeiro, manufaturado, humano, social ou natural, garantindo o fluxo de bens e serviços conforme o diagrama de sistema mostrado na Figura 31, onde são mostrados os fluxos técnicos e biológicos ao longo do "círculo de valor".

Em suma, a adoção da Visão de Ciclo de Vida é essencial para se atingir o desenvolvimento sustentável (UNEP, 2004). Neste contexto, a gestão ambiental passa da gestão de riscos e prevenção da poluição para a Gestão do Ciclo de Vida (BEAMON, 1999). Para Sonnemann e Margni (2015), a Gestão do Ciclo de Vida possibilita a inserção da Visão de Ciclo de Vida nas práticas de negócios, tornando-a operacional.

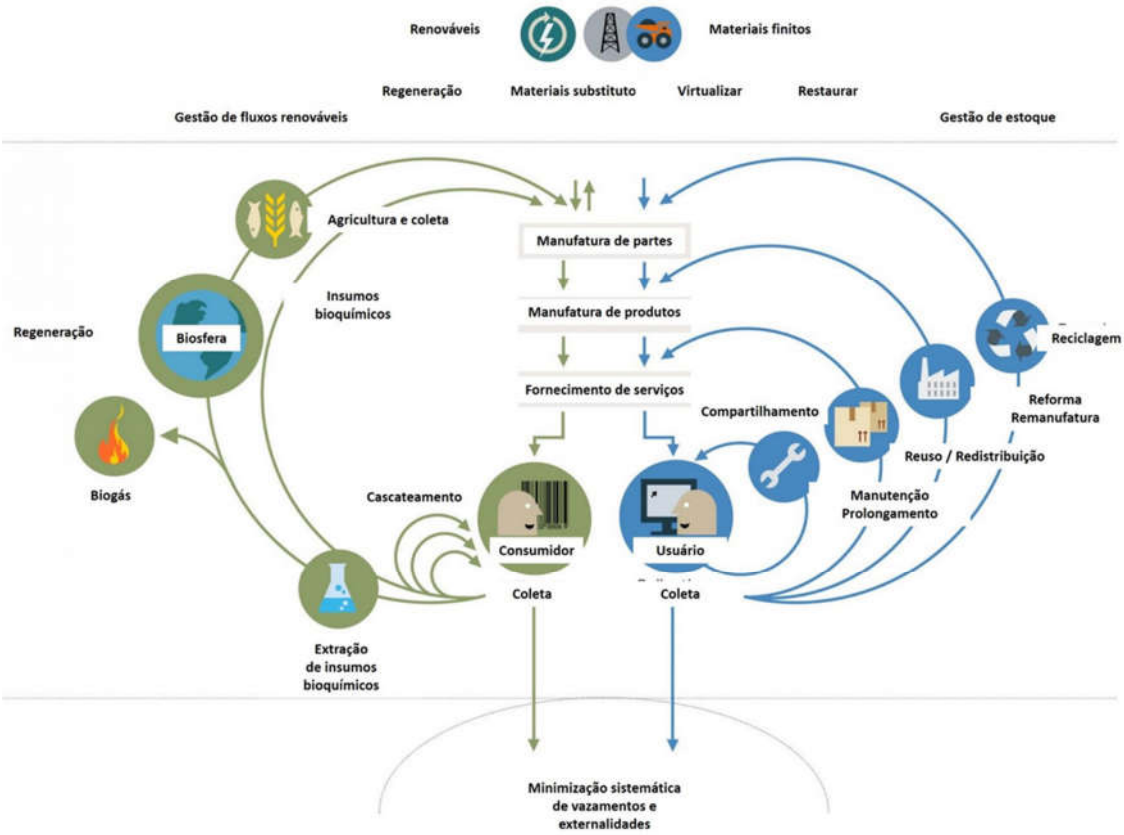


Figura 31 – O conceito de Economia Circular ilustrado em um diagrama de sistemas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

4.2. Gestão do Ciclo de Vida (GCV)

Segundo Rebitzer (2015), as abordagens tradicionais de gestão ambiental voltadas para redução de custos, cumprimento de requisitos legais, operações internas e gestão de riscos não são suficientes para se lidar com os atuais desafios dos negócios. Porém, esta visão ainda prevalece em diversas organizações, frequentemente naquelas em que o setor de Sustentabilidade é um subsetor de outro, como Meio-ambiente, Saúde e Segurança (*Environment, Health and Safety*, EHS) (REBITZER, 2015).

A busca por de vantagens competitivas em acordo com os requisitos do desenvolvimento sustentável tornou necessária a criação de práticas de gestão de ciclo de vida que expandam o escopo das abordagens tradicionais para todo o ciclo de vida e cadeia de valor dos produtos, atrelando a gestão ambiental e o desempenho das organizações à criação de valor (REBITZER, 2015). Com isso, surge a chamada Gestão do Ciclo de Vida.

Uma das primeiras aparições do temo “Gestão do Ciclo de Vida” no contexto da sustentabilidade ambiental ocorreu na elaboração da Agenda 21 em 1992. Em 2001, foi organizada a 1ª Conferência Internacional em Gestão do Ciclo de Vida, por Allan Astrup Jensen (2001). Três anos mais tarde, David Hunkeler (Hunkeler et al. 2004) tratou de introduzir formalmente o termo e Matthias Finkbeiner (Finkbeiner, 2011) estendeu o termo para abranger a Gestão da Sustentabilidade no Ciclo de Vida.

A Gestão da Sustentabilidade no Ciclo de Vida (GSCV) consiste na aplicação da Avaliação da Sustentabilidade no Ciclo de Vida na tomada de decisões com o objetivo de otimizar o tripé da sustentabilidade (ambiental, social e econômico). A Avaliação da Sustentabilidade no Ciclo de Vida (ASCV ou LCSA, *Life Cycle Sustainabilty Assessment*), por sua vez, engloba as três dimensões da sustentabilidade dentro de uma perspectiva de ciclo de vida por meio de ferramentas como a Avaliação Ambiental do Ciclo de Vida (ACV), o Custo de Ciclo de Vida (CCV) e a Avaliação de Ciclo de Vida Social (ACVS) (FINKBEINER, 2011). Estas relações podem ser escritas na forma das equações:

- ACV = Avaliação do Ciclo de Vida (Ambiental)
- CCV = Custo do Ciclo de Vida
- ACVS = Avaliação de Ciclo de Vida Social
- ASCV = Avaliação da Sustentabilidade no Ciclo de Vida = ACV + CCV + ACVS
- GSCV = Gestão da Sustentabilidade no Ciclo de Vida = f(ASCV) = max (SUSTENTABILIDADE)

Embora o termo “Gestão do Ciclo de Vida” tenha surgido há mais de uma década no contexto ambiental, ainda se faz necessária uma maior clareza com relação ao termo e sua definição (SONNEMANN et al., 2015). Muitas vezes o termo é confundido com outros usos dentro da engenharia e manufatura, do desenvolvimento de softwares, entre outros campos.

A GCV é um conceito amplo que vem sendo aplicado por companhias de diferentes formas, com diferentes abordagens e ferramentas. Existem diversas definições de Gestão do Ciclo de Vida presentes na literatura, mas não se pode dizer que existe uma definição universal (SONNEMANN et al., 2015). No A CGV pode ser usada para direcionar, organizar, analisar e gerenciar as informações relacionadas ao produto e atividades para a melhoria contínua ao longo do ciclo de vida do produto (UNEP/SETAC, 2009). Na prática, a GCV consiste na

integração de ferramentas e conceitos para a tomada de decisões sobre os produtos e serviços mais sustentáveis dentro de uma perspectiva de ciclo de vida além da comunicação de informações de ciclo de vida para as partes interessadas (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005).

Segundo Sonnemann e Margni (2015), a GCV é um diferencial de mercado em termos de desempenho ambiental, trabalhando com todos os departamentos de uma empresa e melhorando a colaboração com os stakeholders ao longo de toda a cadeia de valores da empresa e possibilita a expansão do escopo da gestão ambiental para montante e jusante das companhias, lidando com aspectos não apenas ambientais, mas sociais e econômicos, atrelando a gestão da sustentabilidade e do desempenho ambiental das companhias ao valor de negócio e à criação de valor (REBITZER, 2015).

No Quadro 3 são apresentadas algumas das definições que podem ser encontradas em uma compilação elaborada por Sonnemann et al. (2015). Tendo em vista estas definições, os autores definem o significado de GCV da seguinte forma:

> *GCV é sobretudo um conceito de gestão de negócios para produtos sustentáveis, que pode ser aplicado nos setores industrial e de serviços com o objetivo de aprimorar bens específicos e serviços e melhorar o desempenho ambiental geral dos negócios e suas cadeias de valores. Ela torna a visão de ciclo de vida e a sustentabilidade de produtos operacionais para os negócios ambiciosos e comprometidos com a redução dos danos ambientais e socioeconômicos, ao mesmo tempo maximizando o valor econômico e social. Neste sentido, a GCV é usada além do sucesso a curto prazo dos negócios; ao invés disso, ela busca levar os negócios adiante para conquistas a longo prazo e criação de valor. Portanto, a GCV requer uma visão holística e compreensão total da interdependência dos negócios para que seja possível dar apoio a decisões relevantes e ações de melhoria do desempenho ambiental que levem em consideração os benefícios ambientais e sociais ao mesmo tempo oferecendo uma variedade de oportunidades para a criação de valor para o negócio (*SONNEMANN et al., 2015)..

Quadro 3 – Definições de Gestão de Ciclo de Vida. Elaborado com base em Sonnemann et al. (2015).

Referência	Definição de GCV
Linnanen (1995)	Gestão do ciclo de vida consiste em três visões: (1) a visão da gerência, integrando questões ambientais na tomada de decisões da empresa; (2) a visão da engenharia, otimizando o impacto ambiental causado pelo produto ao longo de seu ciclo de vida; e (3) a visão da liderança, criando uma nova cultura organizacional.
Fava (1997)	Gestão do ciclo de vida é o link entre critérios ambientais de ciclo de vida e as estratégias e planos de uma organização para atingir benefícios nos negócios.
Finkbeiner et al. (1998)	Uma abordagem abrangente visando produtos e ferramentas de gestão relacionadas à origem, que seguem uma perspectiva de ciclo de vida.
Heiskanen (2002)	Ideias e ferramentas baseadas em ACV podem ser vistas como lógicas institucionais emergentes por si só. Enquanto a ACV faz uso de muitos modelos e princípios científicos, é mais uma forma de contabilidade do que uma ciência empírica e observacional. Portanto, a abordagem de ciclo de vida faz necessária uma "visão de planejador social" a respeito dos problemas ambientais, ao invés da minimização das responsabilidades ambientais diretas da empresa.
Hunkeler et al. (2004)	Gestão do ciclo de vida (GCV) é um framework integrado de conceitos e técnicas para tratar de aspectos ambientais, econômicos, tecnológicos e sociais de produtos, serviços e organizações. GCV, como qualquer outro mecanismo de gestão, é aplicada de forma voluntária e pode ser adaptada de acordo com as necessidades e características específicas das organizações individuais.
Baumann e Tillman (2004)	GCV são "as práticas gerenciais e arranjos organizacionais que aplicam a visão de ciclo de vida. Isto significa que as preocupações ambientais e trabalho são coordenados em todo o ciclo de vida ao invés de serem preocupações independentes em cada companhia".
Remmen et al. (2007)	GCV é um sistema de gestão de produtos que visa minimizar os danos ambientais e socioeconômicos associados com os produtos ou portfólios de produtos de uma empresa ao longo de todo seu ciclo de vida e cadeia de valor.
UNEP/SETAC (2009)	"... uma abordagem de gestão de negócios que pode ser usada por todos os tipos de negócios (e outras organizações) para melhorar seus produtos e, consequentemente, o desempenho ambiental da empresa e cadeias de valor associadas"."Pode ser usada para se organizar, analisar e gerir informações e atividades relacionadas a produtos com foco na melhoria contínua ao longo do ciclo de vida".
Jensen (2012)	"... uma integração sistemática da visão de ciclo de vida em práticas modernas de negócios como o objetivo de fornecer às sociedades bens e serviços mais sustentáveis e de gerir o ciclo de vida dos produtos ou portfólio de produtos de uma companhia visando uma produção e consumo mais sustentáveis".

A CGV pode ser usada para direcionar, organizar, analisar e gerenciar as informações relacionadas ao produto e atividades para a melhoria contínua ao longo do ciclo de vida do

produto (UNEP/SETAC, 2009). Na prática, a GCV consiste na integração de ferramentas e conceitos para a tomada de decisões sobre os produtos e serviços mais sustentáveis dentro de uma perspectiva de ciclo de vida além da comunicação de informações de ciclo de vida para as partes interessadas (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005).

Segundo Sonnemann e Margni (2015), a GCV é um diferencial de mercado em termos de desempenho ambiental, trabalhando com todos os departamentos de uma empresa e melhorando a colaboração com os stakeholders ao longo de toda a cadeia de valores da empresa e possibilita a expansão do escopo da gestão ambiental para montante e jusante das companhias, lidando com aspectos não apenas ambientais, mas sociais e econômicos, atrelando a gestão da sustentabilidade e do desempenho ambiental das companhias ao valor de negócio e à criação de valor (REBITZER, 2015).

A longo prazo, a GCV pode ajudar a transforma o mercado tornando a sustentabilidade um diferencial, assim como a qualidade é atualmente, vai além do sucesso a curto prazo, buscando minimizar os danos socioambientais a longo prazo, maximizando o valor econômico e social (REBITZER, 2015).

Harbi et al., (2015) vêm a Gestão do Ciclo de Vida como uma forma de operacionalizar a sustentabilidade dentro de companhias, por meio da criação de valor. Os autores descrevem um *framework* que conecta as ferramentas de gestão da GCV e a criação de valor através de diferentes passos: Caixa de ferramentas, Implementação nos negócios, Benefícios para os negócios, Direcionadores de valor e Valor para os negócios. A Figura 32 apresenta o *framework* proposto pelos autores.

Uma importante questão abordada dentro da Gestão do Ciclo de Vida é relacionada à distribuição das responsabilidades com relação à sustentabilidade de um produto ao longo de seu ciclo de vida (SONNEMANN et al., 2015). Dentro da própria companhia, todos os departamentos possuem seu papel para a Gestão do Ciclo de Vida, como mostra o Quadro 4.

A inserção da Visão de Ciclo de Vida nas empresas por meio da GCV implica em uma maior complexidade dos sistemas de gestão e das capacidades necessárias. Uma abordagem que pode auxiliar as empresas que buscam atingir os níveis de capacidade necessários é pensar em níveis de maturidade. Os Modelos de Maturidade de Capacidade (MMC) podem ser usados pelas companhias para avaliar como elas irão atuar de forma adequada a suas circunstâncias

e para auxilia-las a avançar para o próximo estágio na gestão de seus negócios (UNEP/SETAC, 2009). Estes modelos fornecem uma estrutura de níveis de maturidade para empresas que buscam ir além da conformidade, para a sustentabilidade e que, para isso, necessitam de níveis cada vez mais altos de maturidade ou capacidade (UNEP/SETAC, 2009).

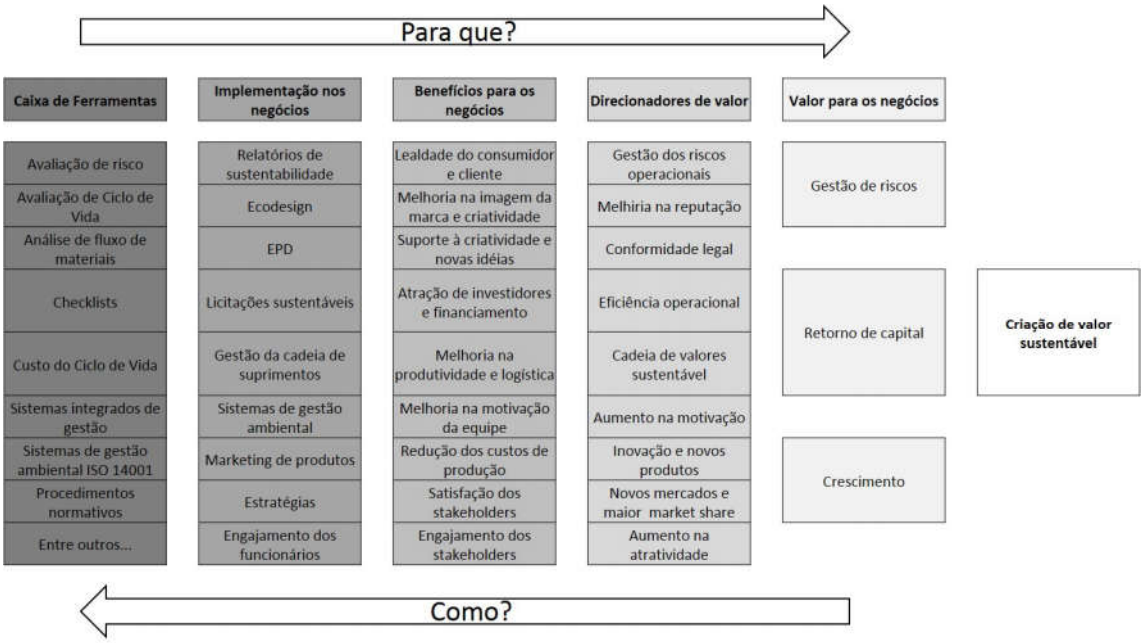


Figura 32 – Estrutura da criação de valor da sustentabilidade que relaciona a Gestão do Ciclo de Vida à criação de valor em uma organização (HARBI et al., 2015).

Existem modelos de maturidade de capacidade com diferentes aplicações, inclusive para a Gestão de Ciclo de Vida (UNEP/SETC., 2013). O objetivo do Modelo de Maturidade de Capacidade para Gestão do Ciclo de Vida (MMC GCV) é auxiliar as companhias para que se mantenham atualizadas e para quem acompanhem o desenvolvimento das companhias que são líderes na Gestão do Ciclo de Vida.

O Modelo de Maturidade de Capacidade de Gestão do Ciclo de Vida (MMC GCV) é baseado em um modelo desenvolvido pelo *Massachusetts Institute of Technology* para a implantação de práticas de *Lean Manufacturing* em empresas. Este modelo foi desenvolvido para lidar com as dificuldades encontradas na adoção de múltiplos princípios, ferramentas e práticas de Lean uma vez que não haviam diretrizes claras sobre a ordem ou precedentes necessários para sua implantação. Este mesmo desafio é encontrado na implantação de práticas de sustentabilidade, em particular, de Gestão do Ciclo de Vida (SWARR et al., 2015).

Quadro 4 – Departamentos em uma organização e sua relevância para a Gestão do Ciclo de Vida na prática (SONNEMANN et al., 2015; REMMEN; JENSEN; FRYDENDAL, 2007).

Departamento	Principais atividades
Produção e distribuição	• Analisar os impactos ambientais e sociais relacionados a um processo produtivo e então sugerir soluções alternativas para reduzir o consumo de recursos e impactos relacionados; • Fornecer ideias e dados para melhorias em produtos e processos; • Identificar e sugerir soluções para reduzir os impactos associados ao consumo de energia relativo ao transporte de matérias-primas, intermediários e produtos finais.
Desenvolvimento de produto e design	• Elevar o grau de importância das questões ambientais dentro da lista de critérios para o design; • Desenvolver novos produtos a partir de considerações sociais, éticas e ambientais; • Tornar os produtos existentes mais sustentáveis, por exemplo, substituindo substâncias ambientalmente danosas por outras menos prejudiciais; • Deixar de fornecer um produto para passar a fornecer um serviço; • Analisar os aspectos ambientais e socioeconômicos de um produto com base em dois pontos de vista relativos ao sistema de produtos: • Uma perspectiva de ciclo de vida com a avaliação dos impactos ambientais e socioeconômicos de um sistema de produtos com base em ferramentas como a Avaliação de Ciclo de Vida e o Custo de Ciclo de Vida; • Uma perspectiva dos *staheholders* com a avaliação dos impactos baseada na visão dos stakeholders como requisitos legais, demandas de mercado e produtos concorrentes. Aplicação de ferramentas como *Quality Function Deployment* (QFD), entrevistas, entre outros.
Economia e finanças	• Fornecer um bom desempenho econômico para possibilitar à companhia ver seus impactos ao se buscar a sustentabilidade e a a gestão da sustentabilidade no ciclo de vida; • Avaliar os custos evitados no ciclo de vida devido à implantação de projetos de gestão da sustentabilidade no ciclo de vida.
Compras	• Seleção de matérias-primas ótimas, semi-produtos e produtos para produção, aplicando ferramentas que integram considerações ambientais e sociais com outros fatores como preço, funcionalidade e qualidade; • Encorajar que considerações ambientais sejam adotadas por meio de questões e demandas sobre as iniciativas ambientais do fornecedor, bem como políticas e documentação sobre os impactos nas etapas anteriores do ciclo de vida, revisão das condições de trabalho nos fornecedores e sub-fornecedores e informações ambientais e sociais específicas sobre matérias-primas, materiais secundários, etc.
Vendas e marketing	• Garantir um bom fluxo de informações entre clientes e a companhia a respeito de fatores como comportamento e preferencias do consumidor, uso ambientalmente favorável do produto, descarte, etc.; • Promover produtos ambientalmente favoráveis por exemplo com a adoção de rotulagem ambiental.
Relações com os stakeholders	• Identificar e envolver os stakeholders para conhecer de antemão suas opiniões sobre os negócios, produtos e serviços e identificar o que realmente importa para eles.

O MMC GCV é estruturado em três amplas categorias. Os processos de liderança estabelecem a direção a ser seguida pela organização e determinam se há motivação e apoio organizacional suficiente para se atingir as metas estabelecidas. Os processos de ciclo de vida fornecem excelência organizacional para projetar, construir, entregar e dar suporte a produtos de forma segura, limpa e justa. A infraestrutura de apoio garante que recursos estarão disponíveis a longo prazo para a implantação bem-sucedida da estratégia definida. O objetivo é acelerar o processo de aprendizado definindo uma sequência lógica de projetos de melhoria e desenvolvimento de competências que gradualmente criam processos de tomada de decisão robustos necessários para a implementação eficaz da GCV. O Quadro 5 apresenta os níveis de maturidade do MMC GCV.

Quadro 5 – Modelo de Maturidade de Capacidade de Gestão do Ciclo de Vida (MMC GCV) (SWARR et al., 2015).

Nível de Maturidade	**Extensão do interesse**	**Métricas**	**Projetos apropriados**
Qualificado	Projeto ou instalação	Binário sim/não; Conformidade; Resíduos	Procedimentos/habilidades para trabalhos básicos. Melhorias em processos unitários, redução de resíduos
Eficiente	Empresa	Entradas/Saídas de processos; Eco-eficiência	Processos interconectados, prevenção da poluição, redesign de processos, colaboração com fornecedores ou consumidores chave
Efetivo	Cadeia de valor	ACV; “berço ao túmulo”	Ecodesign, iniciativas de abrangência da empresa toda, colaborações com a cadeia de valores
Adaptativo	Sociedade	Sustentabilidade; Índices de resiliência	Parceiras público-privadas, desenvolvimento da comunidade, reforma de políticas públicas

Segundo Westkämper, Alting e Arndt (2000), uma das formas de se colocar em prática a GCV é a Engenharia do Ciclo de Vida (ECV).

4.3. Engenharia do Ciclo de Vida (ECV)

No campo da sustentabilidade, as primeiras ocorrências do termo “Engenharia do Ciclo de Vida” datam da década de 1990. Um dos primeiros trabalhos no tema foi apresentado no

congresso da Academia Internacional de Engenharia de Produção (*College International pour la Recherche en Productique* ou CIRP) em 1995 (ALTING; LEGARTH, 1995). Intitulado "Life Cycle Engineering and Design"; o trabalho tratou de apresentar o estado da arte da engenharia e do design do ciclo de vida, com um foco do design de novos produtos.

Desde então, a CIRP vem sendo um dos principais órgãos envolvidos no estudo e disseminação da ECV, contando com um comitê técnico-científico específico (STC A - Life Cycle Engineering and Assembly), comprometido com o estudo da Avaliação do Ciclo de Vida de produtos, processos e sistemas; métodos e ferramentas de apoio à tomada de decisão com foco nas três dimensões da sustentabilidade; gestão do ciclo de vida de produtos e decisões acerca do fim de vida de produtos como desmontagem, reuso e reciclagem.

Umeda et al. (2012) afirmam que, desde que Alting apresentou o conceito de ciclo de vida do produto em sua apresentação na Assembleia Geral da CIRP, o número de estudos de Engenharia de Ciclo de Vida tem crescido rapidamente na CIRP. Para Umeda et al. (2012), Engenharia de ciclo de vida (ECV) é um conceito-chave para a promoção de práticas ambientalmente sustentáveis entre as empresas de fabricação.

Hauschild, Jeswiet e Alting (2005) afirmam que não existe muito consenso sobre a definição de Engenharia do Ciclo de Vida; a ECV seria um aglomerado de tópicos que incluem desde o design de produtos, seus aspectos econômicos, impactos sociais e ambientais. Uma definição é apresentada na Enciclopédia de Engenharia de Produção da CIRP (LAPERRIÈRE; REINHART; ENGINEERING, 2014):

> *(...) atividades de engenharia que incluem: aplicação de princípios tecnológicos e científicos no design e manufatura de produtos, com o objetivo de proteger o meio ambiente e conservar recursos, encorajando o progresso econômico, tendo em mente a busca pela sustentabilidade e, ao mesmo tempo, otimizando o ciclo de vida do produto e minimizando a poluição e geração de resíduos.*

Assim como a Produção mais Limpa, a Engenharia do Ciclo de Vida pode ser considerada como o uso criterioso de recursos por meio de redução na fonte, eficiência energética, e recuperação de materiais, porém, a ECV considera as implicações ambientais além dos "portões" da empresa, ou para além de sua área de atuação direta (US EPA, 2001).

Para Hauschild, Jeswiet e Alting (2005), existem quatro níveis de abordagem da eco-eficiência pela Engenharia do Ciclo de Vida:

1. **Produto**: a eco-eficiência do produto deve ser vista de uma perspectiva de ciclo de vida e dentre as ferramentas para sua otimização estão a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e o Design para o Meio Ambiente (*Design for Environment* ou DfE);
2. **Produção**: aborda e eco-eficiência dos sistemas de produção por meio da reengenharia dos processos com foco nos impactos e uso de recursos. A principal ferramenta é a Integração de Processos (*Process Integration Tool*);
3. **Processos**: após a otimização dos sistemas de produto e de produção, torna necessária a otimização de processos individuais. Dentre as ferramentas pertinentes estão a Produção mais Limpa (P+L) e a Otimização de Processos;
4. **Descartes/resíduos**: quando os outros níveis forem otimizados, ferramentas tradicionais de avaliação do risco ambiental e tecnologias de prevenção e tratamento de emissões devem ser aplicadas para a redução ou tratamento destas emissões.

Com relação às ferramentas de ECV, Duflou et al. (2003) apresentam em seu trabalho uma classificação de acordo com o tipo de *feedback* que elas fornecem (genérico, específico para um problema ou para uma solução) e com o tempo ou estágio de sua aplicação, desde o design conceitual até a produção, conforme apresentado na Figura 33.

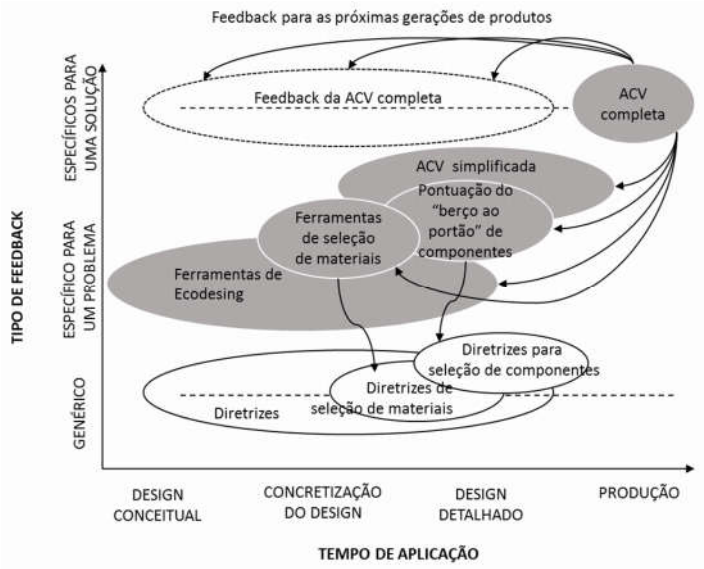


Figura 33 – Categorias de ferramentas da ECV de acordo com tipo de feedback e aplicação. Adaptado de Duflou et al. (2003).

4.4. Práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo De Vida

Muitas das práticas da Engenharia e da Gestão de Ciclo de Vida são voltadas para a análise dos impactos ambientais de um produto ao longo de seu ciclo de vida. O mais consagrado método para se fazer isso é a Avaliação de Ciclo de Vida segundo as diretrizes da norma ISO 14044. Existem muitas outras ferramentas e métodos para se realizar uma Avaliação de Ciclo de Vida, que vão desde aqueles mais simples, qualitativos e de baixo custo, até os mais completos, quantitativos e de alto custo (neste extremo encontra-se a ACV formal). A Figura 34 apresenta uma classificação dos métodos de ACV de acordo com sua natureza e custo proposto por Lehtinen et al. (2011).

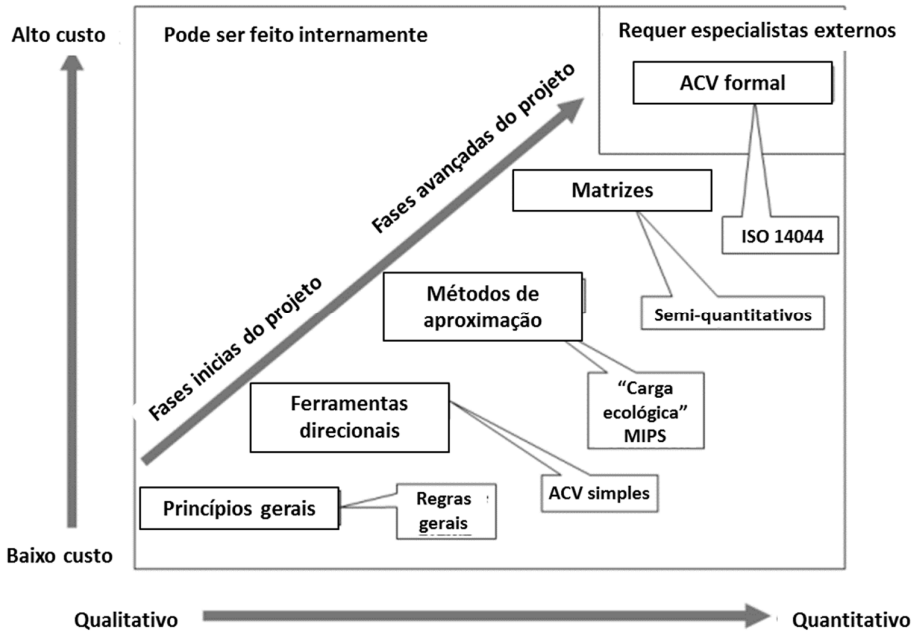


Figura 34 – Ferramentas baseadas na Avaliação de Ciclo de Vida, classificadas de acordo com sua natureza, custo e etapa do projeto (LEHTINEN et al., 2011).

A Avaliação de Ciclo de Vida formal segundo a norma ISO 14040 encontra-se no extremo em termos de custo, baseando-se em uma abordagem quantitativa. Uma alternativa mais simplificada são os métodos de Matrizes de ACV, que avaliam cada etapa do ciclo de vida com relação a um número limitado de indicadores ambientais, estimando os impactos com base em uma escala numérica simples (LEHTINEN et al., 2011).

Os chamados Métodos de Aproximação, como por exemplo a Pegada Ecológica, podem ser opções mais viáveis em contextos onde as ferramentas tradicionais ainda sejam muito complexas, utilizando um valor único para representar o impacto ambiental de um produto. Já as Ferramentas Direcionais são análises bastantes simples baseadas em princípios gerais, senso comum e regras que podem ser usadas para se fazer uma análise superficial dos impactos ao longo do ciclo de vida (LEHTINEN et al., 2011).

Em seu trabalho, Sonnemann et al. (2015) apresentam uma lista de ferramentas analíticas e de processo, além de políticas estratégias e sistemas/programas que podem ser aplicados na Gestão do Ciclo de Vida e são apresentadas na Figura 35. A escolha das companhias por políticas, estratégias, sistemas, programas e diferentes tipos de ferramentas de GCV depende principalmente dos objetivos e do nível de ambição da companhia (SONNEMANN et al., 2015).

Gestão do Ciclo de Vida				
Políticas/Estratégias	**Sistemas/Processos**	**Conceitos/Programas**	**Ferramentas/Técnicas**	**Dados/Modelos de Informação**
Desenvolvimento sustentável	Comunicação	Gestão de produtos	Avaliação de Ciclo de Vida	Bases de dados
Tripé da sustentabilidade	Rotulagem ambiental	Design para o ambiente	Custo do Ciclo de Vida	Referência (melhores práticas, benchmarks, padrões)
Política Integrada de Produtos	Engajamento dos stakeholders	Gestão da cadeia de suprimentos	Análise de custo-benefício	Modelos
Desmaterialização	Certificações	Licitações publicas verdes	Análise do fluxo de materiais e substências	
Produção mais Limpa	Licitações sustentáveis	Engajamento dos stakeholders	Análise de Inputs e Outputs	
Ecologia Industrial	Sistemas de gestão ambiental	Responsabilidade social coorporativa	Input de material por unidade de serviço	
Eco-eficiência	Desing para a sustentabilidade	Contabilidade verde	Análise cumulativa de requisito energético	
etc.	Desmaterialização	Avaliação de fornecedores		
	Estudo de impacto ambiental	Avaliação de Produção mais Limpa		
		Análise de risco		
		Auditorias		

Figura 35 - Métodos, ferramentas e conceitos que podem ser aplicadas à Gestão do Ciclo de Vida (SONNEMANN et al., 2015).

Existem ainda diversas práticas da EGCV voltadas para o Ecodesign de produtos, que têm como objetivo integrar a consideração do meio ambiente no processo de desenvolvimento de

produtos, minimizando seus impactos ao longo de todo o ciclo de vida. Desde seu surgimento, as práticas de Ecodesign vêm evoluindo desde uma abordagem mais técnica de engenharia, para uma perspectiva organizacional, além da engenharia e do design propriamente ditos (PIGOSSO, 2012).

Nas práticas do Ecodesign, além de se buscar o atendimento às demandas ambientais por meio da análise ambiental dos produtos e alternativas desenvolvidos, busca-se ao mesmo tempo garantir que outros critérios essenciais sejam atendidos como desempenho, funcionalidade, qualidade e custo (PIGOSSO, 2012).

A revisão da literatura sobre a Visão, Gestão e Engenharia do Ciclo de Vida mostra que existe uma ampla gama de práticas voltadas para a aplicação destes conceitos. Existem práticas destinadas a todos os estágios do desenvolvimento de produtos, desde o design conceitual, até sua produção. Elas podem ser totalmente genéricas, na forma de diretrizes por exemplo, até as mais específicas, como a Avaliação de Ciclo de Vida formal segundo a ISO 14040. Em termos de complexidade, estas práticas podem variar desde as mais complexas e dispendiosas, baseadas em análises quantitativas e altamente técnicas, passíveis de serem utilizadas apenas por especialistas, até as práticas mais simplificadas e qualitativas, que requerem poucos recursos e podem ser utilizadas até mesmo pelos usuários sofisticados. Além disso, o campo da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida encontra-se em pleno desenvolvimento, com o aperfeiçoamento constante e desenvolvimento de novas práticas.
Sendo assim, o presente trabalho se propôs a analisar apenas uma pequena fração destas práticas, com base nos quesitos de seleção apresentados na sessão 2 MÉTODOS E ESTRUTURA DA PESQUISA. A utilização destas práticas para a proposta de integração com a Produção mais Limpa, objetivo do presente trabalho, poderá servir como exemplo para que outras práticas não abordadas aqui ou desenvolvidas posteriormente possam ser utilizadas com a mesma finalidade.

A seguir são apresentas as práticas da EGCV identificadas com base nos critérios propostos.

4.4.1. Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) (ABNT, 2009)

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV ou LCA, *Life Cycle Assessment*) é uma ferramenta valiosa para se avaliar os impactos ambientais de um produto ao longo de seu ciclo de vida e consiste na compilação e avaliação das entradas, saídas e aspectos ambientais atuais ou potenciais e

impactos durante todo ciclo de vida do produto, desde a aquisição de matéria-prima até a produção, uso, o tratamento de fim de vida, reciclagem e disposição final (UNEP/SETAC, 2009).

Segundo ABNT (2009), não existe método único para a realização de um ACV, portanto, pode-se dizer que existe flexibilidade em sua realização de acordo com sua aplicação pretendida. Ainda segundo ABNT (2009), a metodologia de ACV está aberta a novas descobertas científicas e melhorias no estado da arte. Além disso, a realização de um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida completo não é um pré-requisito para que uma empresa coloque em prática a visão do ciclo de vida (REMMEN; JENSEN; FRYDENDAL, 2007).

A Avaliação de Ciclo de Vida surgiu como uma ferramenta analítica para auxiliar na avaliação dos impactos ambientais de produtos ou serviços (ALTING; HAUSCHILD; WENZEL, 2007; ANBT, 2009) e pode ser aplicada para diversas finalidades como, por exemplo, na identificação dos estágios são mais relevantes do ciclo de vida de um produto, possibilitando à organização focar-se nos estágios de maior impacto (REMMEN; JENSEN; FRYDENDAL, 2007). Os resultados da ACV também podem auxiliar numa variedade de processos decisórios como, por exemplo, no desenvolvimento e aperfeiçoamento de produtos, planejamento estratégico, elaboração de políticas públicas, marketing (ABNT, 2009).

O surgimento da ACV pode ocorreu em diversos lugares, de diferentes formas (HOFFMAN et al., 1997). Os primeiros estudos que buscaram analisar o ciclo de vida de produtos datam do final da década de 1960 e início da década de 1970, sendo que dentre os primeiros estudos de ACV realizados estão os estudos de embalagens para a indústria de bebidas (HOFFMAN et al., 1997; MAZIJN; REVÉRET, 2015). Os primeiros estudos tinham como foco principalmente o consumo de energia e de matérias-primas, como foco secundário no descarte de resíduos, o que pode ser em parte explicado pela grande importância dada à conservação de energia devido ao contexto da crise do petróleo (HOFFMAN et al., 1997).

Apenas em meados dos anos 1980 e início dos anos 1990 é que a Avaliação de Ciclo de Vida acelerou-se, com o interesse mais forte da indústria, designers e revendedores e com isso, na Conferência da ONU para o Meio Ambiente em 1992, muitos passaram a acreditar que a ACV estava entre as mais promissoras novas ferramentas de gestão ambiental (HOFFMAN et al., 1997).

Para HOFFMAN et al. (1997) o ritmo de desenvolvimento e uso da Avaliação de Ciclo de Vida variou desde seu surgimento e, embora tenha sido mais lento na época da publicação de seu documento de 1997, os autores acreditam que a prática passou a apresentar um maior grau de maturidade neste período.

Com a mudança da abordagem de processos para uma abordagem sistêmica, com a Visão de Ciclo de Vida, o interesse pela Avaliação de Ciclo de Vida aumentou e com isso, surgiu a necessidade de se desenvolver padrões internacionais para o estabelecimento de uma metodologia consistente (HOFFMAN et al., 2007). Em resposta, a Organização Internacional para Padronização (ISO) deu início ao desenvolvimento de uma série de normas.

A Norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2009) foi publicada inicialmente em 2009 e mais tarde, no ano de 2006, foi substituída por duas normas, a ISO 14040 e a ISO 14044, que descrevem os Princípios e a Estrutura (14040) e os Requisitos e Orientações (14044) de uma avaliação de ciclo de vida. Atualmente, as normas constituem padrões globalmente aceitos para a realização de Avaliações de Ciclo de Vida (BARTHEL et al., 2015).

Nestas normas, são abordados tópicos como: Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida (Objetivo e Escopo; Inventário; Avaliação de impacto; Interpretação; Comunicação e Revisão Crítica), limitações, relações entre as fases, condições para o uso e escolhas de valores e elementos opcionais. São apresentados também Referências Normativas (relação de documentos indispensáveis para a aplicação da presente norma), Termos e Definições (definições de todos os termos e definições relevantes para o entendimento da norma, como por exemplo, a definição de aspectos ambientais e de produto). A aplicação da ACV ou ICV é definida durante objetivo e escopo, mas a aplicação em si está fora da abrangência da presente norma.

A norma ISO 14040 não descreve detalhadamente a técnica de ACV, nem especifica métodos para as fases individuais, fornecendo apenas uma estrutura geral, princípios e requisitos para conduzir e relatar estudos de avaliação do ciclo de vida. Existem, porém, outros documentos que tratam especificamente de métodos para a aplicação, como é o caso do documento "ILCD *Handbook: General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance"* da European Comission (2010), um guia técnico detalhado que tem como objetivo guiar a realização de ACVs consistentes e com qualidade. Este guia é elaborado com base nas Normas ISO (EUROPEAN COMISSION, 2010).

Para diferentes ACVs, o nível de detalhamento e o tempo de execução podem variar bastante e dependerão do escopo e objetivo definidos. Segundo HOFFMAN et al. (1997), pode-se classificar a ACV em três tipos de acordo com seu grau de desenvolvimento: conceitual, simplificada e detalhada. A ACV conceitual é a mais simples, na qual a abordagem de ciclo de vida é usada para fazer avaliações de aspectos ambientais baseadas em dados limitados e normalmente qualitativos. O resultado de uma ACV conceitual pode, por exemplo, ser apresentado usando declarações qualitativas, ou sistemas de pontuação simplificados, indicando quais os materiais ou componentes que têm um maior impacto ambiental, e por que. Esta modalidade de ACV também é conhecida apenas como "Visão de Ciclo de Vida" ou "*Life Cycle Thinking*".

A Avaliação de Ciclo de Vida é uma prática quantitativa e de alta complexidade. Atualmente, com a disponibilidade cada vez maior de bancos de dados para o Inventário do Ciclo de Vida e de softwares que podem auxiliar na execução da ACV, esta prática torna-se cada vez mais acessível.

Diversos princípios caracterizam a Avaliação de Ciclo de Vida e são apresentados na norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2009). São eles:

1. Perspectiva de Ciclo de Vida: uma ACV leva em consideração todo o ciclo de vida de um produto;
2. Foco Ambiental: a ACV tradicionalmente não enfoca aspectos e impactos sociais e econômicos (embora possa ser adaptada para esta finalidade, com a combinação de outras ferramentas se a intenção for expandir este foco);
3. Abordagem Relativa e Unidade funcional: a unidade funcional define o que está sendo estudado e a abordagem da ACV é relativa a esta unidade funcional;
4. Abordagem iterativa: a ACV é dividida em fases que, de forma iterativa, relacionam-se entre si (cada uma fornecendo resultados para a próxima), garantindo a completeza (explicada adiante) e consistência dos resultados;
5. Transparência: a ACV é uma ferramenta muito complexa que envolve um alto número de decisões tomadas ao longo de sua execução. A transparência, portanto, assegura uma interpretação adequada dos resultados;
6. Completeza: a ACV considera todos os atributos ou aspectos do ambiente natural, da saúde humana e dos recursos;

7. Prioridade da abordagem científica: muitas escolhas e decisões são tomadas ao longo da ACV e é preferível que tais decisões e escolhas sejam tomadas com bases científicas naturais. Quando isso não for possível, são aceitas derivações como ciências econômicas e sociais ou convenções internacionais.

Segundo ABNT (2009), a ACV modela o CV de um produto por meio de seu sistema de produto, que é caracterizado pela sua função (isto é, a função bem definida desempenhada pelo produto). O sistema de produto, que representa todo o ciclo de vida de um produto, é composto por processos elementares que se ligam entre si por meio de fluxos de produtos intermediários e/ou resíduos. Os sistemas de produto se ligam entre si por fluxos de produtos e fluxos. Os fluxos elementares incluem uso de recursos, emissões para ar, solo e água.

Alguns exemplos de fluxos elementares que podem estar entrando no processo são: petróleo bruto, água, madeira, radiação. Já os fluxos elementares de saída podem ser, por exemplo: emissões para ar, água ou solo (CO2, resíduos de óleo, efluentes ricos em matéria orgânica). Fluxos intermediários podem ser: materiais básicos (tábuas de madeira, parafusos, tintas). Os fluxos de produtos entrando ou saindo do sistema podem ser, por exemplo: materiais reciclados ou componentes para reuso.

Segundo a Norma ISO 14040 (ABNT, 2009), a ACV é subdividida em quatro fases principais, listadas abaixo. Além das principais fases, fazem parte da ACV outras atividades auxiliares como documentação das atividades e dados, comunicação ao público e revisão crítica.

1. Objetivo e escopo;
2. Análise de Inventário;
3. Avaliação de Impacto;
4. Interpretação.

A Figura 36 mostra as fases da Avaliação do Ciclo de Vida segundo a ISO 14040.

Na definição do Objetivo, é estabelecida a aplicação pretendida da ACV, as razões para sua execução, seu público-alvo pretendido e sua intenção de uso para comparações ou divulgação pública. Na definição do Escopo, são definidos sistema de produto a ser estudado, funções do sistema de produto, unidade funcional, fronteira do sistema, procedimentos de alocação, categorias de impactos e metodologia para avaliação de impactos, requisitos de dados,

pressupostos, limitações, requisitos iniciais quanto à qualidade dos dados, tipo de revisão crítica (se aplicável), tipo e formato de relatório.

Na Análise de inventário do ciclo de vida, são apresentados coleta de dados e procedimento de cálculo para identificar entradas e saídas. Na Coleta de dados, os dados podem ser classificados sob títulos gerais: entrada de energia, matéria-prima, auxiliares e outras entradas físicas, produtos, co-produtos, resíduos, emissões atmosféricas, descargas para a água e solo, outros aspectos ambientais. Os Cálculos com os dados incluem validação dos dados, correlação dos dados aos processos elementares, correlação dos dados aos fluxos de referência e unidade funcional.

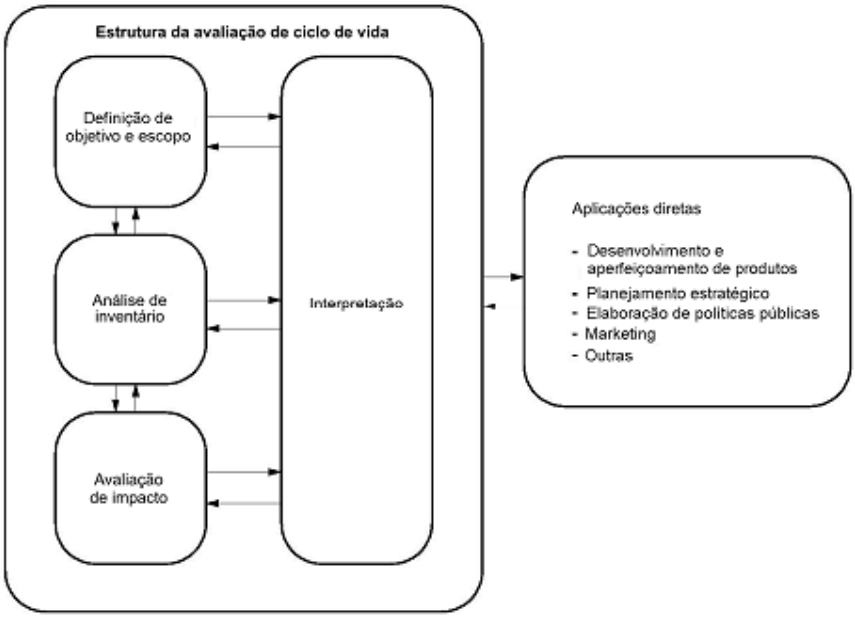


Figura 36 – Fases de uma ACV (ABNT, 2009)

Na Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) é estudada a significância dos impactos potenciais e são associados dados de inventário com categorias de impactos. Esta etapa ocorre na forma de um processo iterativo para determinar se os objetivos foram atingidos. Questões como escolha, modelagem e avaliação de categorias de impacto podem introduzir subjetividades na AICV, portanto, a transparência é um fator crítico. Alguns dos elementos mandatórios da AICV são: Seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização; Correlação de resultados do ICV (classificação) e o Cálculo de resultados dos indicadores de categoria (caracterização).

A avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV) associa os resultados do inventário do ciclo de vida (ICV) a categorias de impacto – para cada categoria é selecionado um indicador de categoria de impacto (indicador de categoria) e é calculado o resultado desse indicador (resultado do indicador). O conjunto dos resultados dos indicadores (resultado da AICV ou perfil da AICV) fornece informações sobre as questões associadas às entradas e saídas do sistema de produto.

Segundo ABNT (2009), não existe base científica para a redução dos resultados da ACV a uma única nota ou número, uma vez que a ponderação requer escolha de valores, ou seja, depende da subjetividade do realizador da ACV.

Na Interpretação do ciclo de vida as constatações das etapas anteriores são consideradas em conjunto. Os resultados devem ser consistentes com objetivo e escopo e levar a conclusões, além de explicar as limitações e prover recomendações. A interpretação deve refletir o fato de que resultados de AICV são baseados em uma abordagem relativa. Constatações da interpretação podem tomar forma de conclusões e recomendações aos tomadores de decisão. Esta etapa visa fornecer uma apresentação prontamente compreensível, completa e consistente. Pode envolver processo iterativo de rever e revisar o escopo da ACV, natureza e qualidade dos dados coletados, de forma consistente com os objetivos definidos.

A fase de interpretação apresenta um procedimento sistemático para identificar, qualificar, conferir, avaliar e apresentar as conclusões baseadas nas constatações de uma ACV para responder às questões propostas no objetivo e escopo e utiliza procedimento iterativo dentro da própria fase de interpretação e com outras fases da ACV. A interpretação viabiliza ainda a vinculação entre a ACV e outras técnicas de gestão ambiental ao enfatizar as potencialidades e os limites de uma ACV com relação ao seu objetivo e escopo.

A forma como a ACV será conduzida dependerá de seu objetivo. Muitas vezes o objetivo pode ser alcançado por meio apenas da análise de inventário e interpretação (chamado Inventário do Ciclo de vida ou ICV). Uma ACV completa inclui as quatro fases (objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impactos e interpretação). Todas essas fases são essenciais para que se possa atingir o objetivo proposto na ACV. Já na ICV, o objetivo pode ser alcançado por meio apenas da análise de inventário e interpretação, portanto, as fases da ICV são objetivo e escopo, análise de inventário e interpretação (ABNT, 2009).

A aplicação da ICV, portanto, destina-se a situações mais simplificadas, onde se pode chegar a conclusões baseando-se apenas no inventário, não sendo necessário o estudo quantitativo da significância dos impactos ambientais. Ambos os estudos podem ser utilizados para uma variedade de aplicações como desenvolvimento de produtos, planejamento estratégico, elaboração de políticas públicas, marketing, entre outras.

Embora a comunidade de Avaliação de Ciclo de Vida demonstre muita confiança no futuro da ferramenta, alguns autores ainda estão céticos com relação a sua eficiência (HOFFMAN et al., 1997). Dentre algumas das dificuldades apresentadas estão a falta de acessibilidade da ferramenta, em um mundo onde a busca por simplicidade e clareza gera uma alta competitividade, e a falta de confiabilidade na robustez de seus resultados por parte dos praticantes (HOFFMAN et al., 1997). Mas se por um lado o público e os usuários demandam ferramentas mais simplificadas e comunicação de resultados mais diretos, estes são justamente os fatores que podem tirar a credibilidade dos resultados da ACV (HOFFMAN et al., 1997).

HOFFMAN et al. (1997) lista também outras barreiras para a adoção da Avaliação de Ciclo de Vida na gestão ambiental como: elevada complexidade dos métodos; custo e demanda de tempo elevados, embora cada vez menores; necessidade de se fazer juízo de valor, o que nem sempre é apresentado no relatório final. Uma das barreiras listadas em Hoffman et al. (1997) é a falta de um padrão internacional para a prática da Avaliação de Ciclo de Vida, problema este que já foi superado com a criação das Normas ISO 14040 – 14044.

Uma das maiores barreiras listadas pelos autores é, entretanto, a falta de pressão de mercado para a adoção da ferramenta uma vez que grande parte das empresas simplesmente não vê necessidade de adotar a AVC no seu processo de tomada de decisão. Embora esta barreira ainda exista, pode-se dizer que o cenário está mudando e um número crescente de empresas passou a adotar a ACV em seu processo de tomada de decisão.

4.4.2. Planilha de ACV (US EPA, 1995)

A Planilha de ACV é uma ferramenta apresentada por US EPA (1995), que tem como objetivo auxiliar na compreensão completa dos impactos ambientais do ciclo de vida associados a processos existentes, potenciais projetos de P2 e diferentes alternativas de projeto. Esta

ferramenta pode ser utilizada mesmo quando se trata de dados incompletos, porém, sua eficácia ficará prejudicada.

Planilha de Avaliação de Ciclo de Vida (EPA, 1995)							
I Etapas do processo							
II Entradas	2a	Matéria-prima (unidades)					
	2b	Consumo de energia					
		Eletricidade (KW.hr)					
		Gás natural (m³)					
		Combustível (L)					
		Outros					
	2c	Consumo de água (L)					
	2d	Outras entradas					
III Saídas	3a	Produtos e co-produtos úteis (item e quantidade)					
	3b	Lançamentos atmosféricos					
	3c	Lançamentos na água (inclusive efluentes)					
	3d	Resíduos sólidos					

Figura 37 – Modelo de Planilha de ACV (US EPA, 1995)

O modelo da planilha, apresentado na Figura 37, pode ser preenchida com dados numéricos (quantitativos) ou descritivos (qualitativos), sendo preferíveis os dados quantitativos.

O procedimento para preenchimento da planilha inclui: listagem das etapas do processo, identificação das matérias-primas, energia, e água consumidas pelos processos, consumo de insumos pelos processos ou etapas intermediárias, produtos resultantes, emissões atmosféricas, geração de efluentes e resíduos sólidos. Maiores detalhes sobre os procedimentos podem ser encontrados no documento *FEDERAL FACILITY POLLUTION PREVENTION PROJECT ANALYSIS : A Primer for Applying Life Cycle and Total Cost Assessment* (US EPA, 1995).

4.4.3. Ferramenta de Visão de Ciclo de Vida (O'HARE et al., 2014)

A Ferramenta de Visão de Ciclo de Vida é uma ferramenta apresentada por O'hare et al. (2014) baseada na ideia da Visão de Ciclo de Vida, que permite um melhor entendimento dos principais impactos ambientais associados a um produto ao longo de seu ciclo de vida, levando as empresas a pensarem em nos desafios e oportunidades associados a estes impactos.

	Metérias-primas	Produção	Transporte	Uso	Fim-de-Vida
Materiais					
Energia					
Saúde e Toxicidade					
Sociais					
Econômicos					

Figura 38 - Exemplo de Planilha de Ferramenta de Visão de Ciclo de Vida (O'HARE et al., 2014).

A ferramenta consiste em uma matriz elaborada pelo próprio usuário. O primeiro passo é listar todas as fases do ciclo de vida do produto e pensar em todos os impactos ambientais, sociais e econômicos associados ao produto ao longo de seu ciclo de vida. Estes impactos são anotados em uma matriz que combina as fases do ciclo de vida (colunas) e os diferentes aspectos de sustentabilidade (linhas). Um exemplo da matriz resultando é apresentado na Figura 38. O preenchimento da matriz é feito com textos, que indicam, por exemplo, na célula (1), quais são os impactos da fase de extração de matérias-primas, associados ao uso de materiais (por exemplo, consumo elevado de recursos naturais não renováveis).

As células com maior quantidade de impactos associados são consideradas *hotspots* de sustentabilidade, e devem receber a maior atenção.

4.4.4. Análise de Efeito Ambiental (AEA) (JENSEN et al., 2000)

A Análise de efeito ambiental (AEA) é um método desenvolvido inicialmente na Suécia em 1996 por uma agência de consultoria, que vem sendo aperfeiçoado em parceria com empresas e universidades. É uma modificação do método FMEA e enfatiza os efeitos ambientais durante operações normais, em contraste com o FMEA que salienta os riscos de falhas (Lindahl et al., 2000). A AEA foi desenvolvida para ajudar empresas no desenvolvimento de produtos ambientalmente favoráveis, em resposta à necessidade de um método mais simples e rápido para a avaliação de impactos ambientais (Jensen et al., 2001).

Sua finalidade é identificar e avaliar de forma semi-quantitativa os potenciais impactos ambientais em todas as fases do ciclo de vida de um produto desde as etapas iniciais do desenvolvimento de produtos e, a partir destes impactos, identificar possíveis ações a serem tomadas (Jensen et al., 2001).

A AEA é um processo sistemático desenvolvido por grupos multifuncionais, no qual uma planilha é utilizada para auxiliar na sistematização do processo – uma das principais vantagens da AEA. A planilha é dividida em quatro partes: o cabeçalho da planilha, a seção de inventário, a seção de avaliação e a seção de ações (Jensen et al., 2001). A Figura 39 ilustra um exemplo da planilha AEA e a Figura 40 explica suas sessões.

Análise de Efeito Ambiental - AEA					
Nome da	Número da	Número do desenho	Função	Data	Versão

Projeto	Fornecedor	Informações

Líder do AEA	Participantes do AEA

Inventário				Avaliação				Ações							
Ciclo de		Características ambientais						Propostas de ação		Avaliação				Realização	
n°	Fase do ciclo de vida	Atividade	Aspecto ambiental	S	I	O	EPN/F	Recomendações	Aspecto Ambiental	S	I	O	EPN/F	Obs	Responsável

Figura 39 – Exemplo de Planilha de Análise de Efeito Ambiental (AEA) (JENSEN et al., 2000).

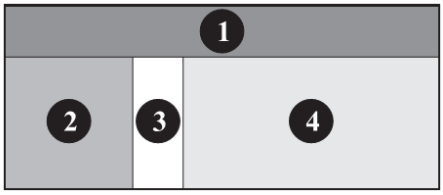


Figura 40 – As sessões da Planilha de EEA. A parte (1) consiste no cabeçalho, a parte (2) é o inventário, (3) a sessão de avaliação e (4) a sessão de ações (JENSEN et al., 2000).

O primeiro passo na elaboração da AEA é identificar as fases do ciclo de vida do produto ou processo avaliado. Em seguida, são identificados os efeitos ambientais de cada fase. O próximo passo é avaliar o grau dos efeitos identificados – esta é a etapa mais subjetiva do

processo, e pode variar de acordo com a equipe que realizada a AEA. A Figura 41 apresenta o fluxograma das etapas envolvidas na aplicação da AAE.

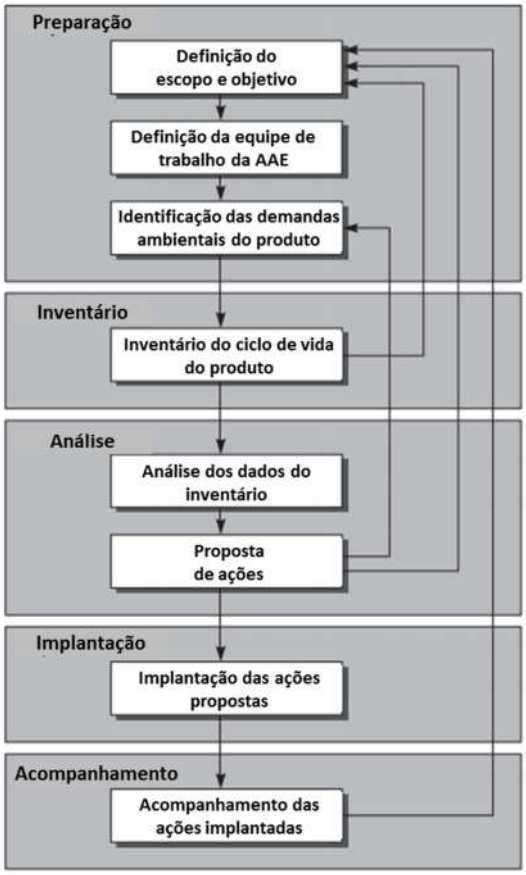


Figura 41 – Fluxograma das etapas da aplicação da AAE (LINDAHL; JENSEN; TINGSTRÖM, 2000).

O grau dos efeitos é calculado de acordo com alguns critérios, identificados na matriz como “S”, “I, “O” e “EPN/F”. O item “S” diz respeito aos requisitos legais, “I” diz respeito à imagem da empresa e “O” diz respeito aos efeitos ao meio ambiente. Estes itens deverão receber notas que variam de 1 a 3, sendo 1 a nota mais positiva e 3 a nota mais negativa. A soma destes três critérios é chamada do Número de Prioridade Ambiental (*Environmental Priority Number* ou EPN).

O item “EPN/F” representa a soma dos itens anteriores e apresenta ainda um critério de possibilidade de melhoria, que irá variar de 1 a 9, sendo que 1 representa “nenhuma possibilidade de melhoria” e 9 representa “alto potencial de melhoria”. Um fator importante é a possibilidade de melhoria (F), que incide sobre o esforço em tempo, custo e possibilidades

técnicas necessárias para melhorar o ambiente de um produto ou de uma parte de um produto.

O passo seguinte diz respeito à recomendação de ações. Diferentes tipos de ações são propostas e decisões são tomadas. Estas decisões são novamente analisadas – as ações irão variar de acordo com o EPN e a possibilidade de melhoria (F), conforme mostra a Figura 42.

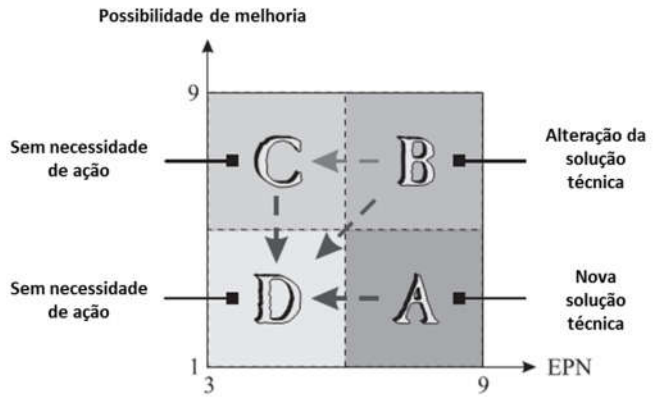


Figura 42 – Relação entre o Número de Prioridade Ambiental (EPN), Possibilidade de Melhorias (F) e os tipos de ações propostas (LINDAHL, 2001)

Lindahl (2001) destaca algumas das vantagens e desvantagens da AEA:

- **Integração** – A AEA é coordenada com outras atividades do processo de desenvolvimento do produto e suas etapas são integradas no plano de projeto.
- **Equipe multifuncional** – A equipe desempenha um papel importante na avaliação dos efeitos ambientais identificados, incentivando a comunicação entre diferentes funções em um projeto.
- **Dados de baixa qualidade** – O método do AEA é criado para ser capaz de lidar com dados qualitativos, podendo ser utilizada nos casos em que não há grande quantidade de dados disponíveis.
- **Tempo** – O tempo necessário para realizar uma AEA é mais curto do que, por exemplo, uma ACV, podendo ser feita em até 2 – 3 horas, dependendo do tamanho do projeto.
- **Fases iniciais** – Devido a sua simplicidade e objetividade, a AEA pode ser utilizada logo nas fases iniciais do desenvolvimento de um produto.
- **Fácil de aprender, entender e usar**.

<u>Desvantagens</u>:

- **Subjetividade**: devido a suas características e sua natureza qualitativa, a AEA é uma prática altamente subjetiva, devendo ser utilizada com cautela.

Devido a suas características, esta ferramenta pode ser adequada para o uso em pequenas e médias empresas, embora idealmente seja necessária a atuação de um especialista em meio ambiente para seu preenchimento.

Maiores informações sobre o método podem ser encontradas em Jensen et al., (2000), Lindahl, Jensen e Tingström (2000), Lindahl (2001) e um roteiro detalhado para sua aplicação pode ser encontrado em IGPD (2013) e Cobra (2012).

4.4.5. Matriz DfE (YARWOOD; EAGAN, 1998)

A Matriz DfE surgiu do aprimoramento da DfE *Toolkit* por Yarwood e Eagan (1998) e é uma ferramenta simplificada para a avaliação do ciclo de vida de produtos. O método baseia-se em análises semi-quantitativas dos impactos ambientais nas diversas fases do ciclo de vida do produto, realizadas com o auxílio de um questionário e uma planilha. Para sua aplicação, uma planilha é utilizada para anotação das pontuações, que são feitas com base em um questionário.

Seu objetivo é a identificação das etapas ou aspectos de maior impacto para determinado produto, com base nas notas parciais das etapas e dos aspectos, podendo ser usada também para a comparação de alternativas de projeto, com base na nota total do produto.

O questionário é dividido em 5 partes, com relação às diferentes etapas do ciclo de vida do produto:

- A: pré-manufatura;
- B: manufatura;
- C: embalagem e transporte;
- D: uso e manutenção;
- E: fim de vida.

As fases do ciclo de vida são avaliadas com relação a 5 aspectos ambientais:

1. Materiais;
2. Consumo de energia;
3. Resíduos sólidos;

4. Resíduos líquidos;
5. Resíduos gasosos.

A matriz, por sua vez, é composta por 25 campos que representam o cruzamento entre as fases do ciclo de vida (A a E) e dos aspectos avaliados (1 a 5), conforme apresentado na Figura 43.

O preenchimento das células da matriz é feito por meio de um sistema de pontuação guiado por 100 perguntas do questionário, que pode ser encontrado em Cobra (2012) e IGPD (2013). A pontuação das células indica as fases do ciclo de vida em que ocorrem os maiores impactos. A pontuação máxima 125 pontos – quanto maior o valor resultando, melhor é o desempenho ambiental do produto. O resultado pode ser utilizado para comparar alternativas de projeto, conceitos de produto e diferentes produtos, além de identificar áreas com maior potencial de melhoria do desempenho ambiental.

Fases do ciclo de vida	Aspecto Ambiental					Total
	1 Materias	2 Consumo de Energia	3 Resíduos Sólidos	4 Resíduos Líquidos	5 Resíduos Gasosos	
A Pré-manufatura	(A.1) 0	(A.2) 0	(A.3) 0	(A.4) 0	(A.5) 0	0
B Manufatura	(B.1) 0	(B.2) 0	(B.3) 0	(B.4) 0	(B.5) 0	0
C Embalagem e Distribuição	(C.1) 0	(C.2) 0	(C.3) 0	(C.4) 0	(C.5) 0	0
D Uso e Manutenção	(D.1) 0	(D.2) 0	(D.3) 0	(D.4) 0	(D.5) 0	0
E Fim de Vida	(E.1) 0	(E.2) 0	(E.3) 0	(E.4) 0	(E.5) 0	0
Total	0	0	0	0	0	0

Figura 43 – Exemplo de Matriz DfE (YARWOOD; EAGAN, 1998; COBRA, 2012).

Em seu trabalho, Yarwood e Eagan (1998) apresentam algumas das vantagens e desvantagens do uso da Matriz DfE:

<u>Vantagens:</u>

- Tempo: devido a sua simplicidade, pode ser realizada em pouco tempo;

- Custo: baixo requisito de tempo e recursos para a sua execução resulta em baixo custo;
- Simplicidade: não exige alto grau de especialização do usuário;
- Comparação: pode ser usada para a comparação de diferentes cenários.

Desvantagens:

- Subjetividade: por ser uma análise semi-quantitativa, apresenta alto grau de subjetividade.

Maiores informações e recomendações sobre o uso desta ferramenta podem ser encontradas em Yarwood e Eagan (1998), IGPD (2013) e Cobra (2012).

4.4.6. Matriz Ecofuncional (LAGERSTEDT, 2003)

A Matriz Ecofuncional foi desenvolvida por Lagerstedt (2003), e é apresentada em sua tese. Conforme indica o próprio nome da ferramenta, ela realiza a análise ambiental de um produto com base em sua função ou funções. A Figura 44 apresenta um *framework* de caracterização da matriz Ecofuncional.

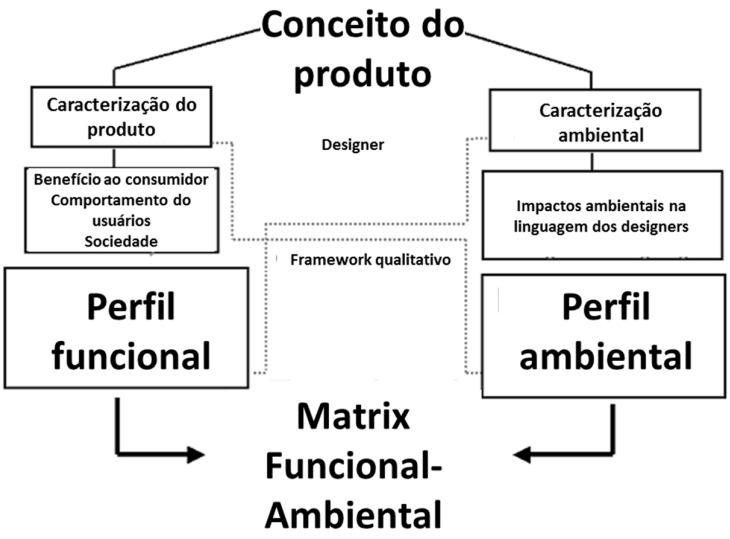


Figura 44 – Framework de caracterização da Matrix Ecofuncional (LAGERSTEDT, 2003).

Seu principal objetivo é relacionar características do perfil ambiental de produtos (por exemplo, o número de materiais tóxicos) com suas características funcionais (por exemplo, sua vida útil), possibilitando a identificação dos pontos de maior interesse para a redução de impactos, buscando manter a funcionalidade requerida.

Sua implantação é feita com base em questionários para auxiliar no preenchimento de uma matriz, mostrada na Figura 45, que indicará quais os pontos mais críticos no ciclo de vida do produto, com foco no desempenho ambiental e funcional (LAGERSTEDT, 2003).

PRODUTO: (Nome) Usuário: (por quem o produto é manuseado?) Função: (que papel o produto exerce para o usuário?)	Respostas	A)Vida Útil	B)Tempo de uso	C)Confiabilidade	D)Segurança	E)Homem-máquina	F)Preço	G)Flexibilidade técnica	H)Demanda ambiental	K)Número de produtos	L)Massa	M)Número de materiais	N)Mistura de materiais	O)Materiais raros	P)Materiais tóxicos	Q)Consumo de energia	R)Fontes de energia
Respostas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A)Vida Útil	0																
B)Tempo de uso	0																
C)Confiabilidade	0																
D)Segurança	0																
E)Homem-máquina	0																
F)Preço	0																
G)Flexibilidade técnica	0																
H)Demanda ambiental	0																
K)Número de produtos	0																
L)Massa	0																
M)Número de materiais	0																
N)Mistura de materiais	0																
O)Materiais raros	0																
P)Materiais tóxicos	0																
Q)Consumo de energia	0																
R)Fontes de energia	0																

Figura 45 - Exemplo de Matriz Ecofuncional (LAGERSTEDT, 2003; COBRA, 2012)

A Matriz Ecofuncional possui o mesmo conteúdo cabeçalho superior e na coluna esquerda – 16 itens divididos em Perfil Funcional (A – H) e Perfil Ambiental (K – R).

Cada região da matriz corresponde a uma parte da correlação entre os aspectos:

- Região 1: correlações de critérios do perfil funcional;
- Região 2: correlação dos critérios do perfil funcional com o perfil ambiental;
- Região 3: correlações de critérios do perfil ambiental.

- Maiores detalhes sobre a ferramenta e um exemplo de sua aplicação podem ser encontrados em Lagerstedt (2003). O procedimento detalhado para o preenchimento da Matriz pode ser encontrado em IGPD (2013) e Cobra (2012).
- A ferramenta em questão baseia-se na análise dos aspectos funcionais do produto. Assim como os produtos, todos os processos de manufatura também apresentam uma função que tem como objetivo a produção de um produto (REVELLE; MORAN; COX, 1998). Sendo assim, a ferramenta possui potencial para ser utilizada para análise de

processos, porém, uma adaptação das questões associadas ao perfil funcional (tempo de vida útil, tempo de uso, confiabilidade, segurança e interação homem/máquina) precisa ser feita para que elas sejam pertinentes no contexto da análise de processos.

4.5. Conclusões parciais e recomendações

- Com a mudança de paradigma na gestão ambiental e expansão de seu escopo, a adoção da Visão de Ciclo de Vida tornou-se essencial para a adequada gestão de produtos, processos e serviços pois busca garantir que os impactos ocasionados pelos mesmos não sejam transferidos para outros meios ou outras etapas do ciclo de vida ou que a responsabilidade por estes impactos seja transferida. A Visão de Ciclo de Vida tem sido colocada em prática por meio do desenvolvimento e aplicação de ferramentas, métodos, procedimentos e técnicas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida, tratadas no presente trabalho por "práticas da EGCV".
- A principal prática de EGCV é a Avaliação de Ciclo de Vida, um método busca analisar de forma abrangente os impactos ao longo do ciclo de vida de produtos, sendo ao mesmo tempo focada por meio de um objetivo e escopo. Além disso, a ACV fornece um procedimento estruturado, padronizado e formal por meio da ISO 14040, da qual derivam diversas outras práticas.
- A revisão da literatura sobre a Visão, Gestão e Engenharia do Ciclo de Vida mostra que existe uma ampla gama de práticas voltadas para a aplicação destes conceitos. Existem práticas destinadas a todos os estágios do desenvolvimento de produtos, desde o design conceitual, até sua produção. Elas podem ser totalmente genéricas, na forma de diretrizes por exemplo, até as mais específicas, como a Avaliação de Ciclo de Vida formal segundo a ISO 14040. Em termos de complexidade, estas práticas podem variar desde as mais complexas e dispendiosas, baseadas em análises quantitativas e altamente técnicas, passíveis de serem utilizadas apenas por especialistas, até as práticas mais simplificadas e qualitativas, que requerem poucos recursos e podem ser utilizadas até mesmo pelos usuários sofisticados. Além disso, o campo da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida encontra-se em pleno desenvolvimento, com o aperfeiçoamento constante e desenvolvimento de novas práticas.

- Sendo assim, o presente trabalho se propõe a analisar apenas uma pequena fração destas práticas, com base nos quesitos de seleção apresentados na sessão 2 MÉTODOS E ESTRUTURA DA PESQUISA. A utilização destas práticas para a proposta de integração com a Produção mais Limpa, objetivo do presente trabalho, poderá servir como exemplo para que outras práticas não abordadas aqui ou desenvolvidas posteriormente possam ser utilizadas com a mesma finalidade.

5. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo serão apresentadas as informações sobre a empresa incluindo as sessões 5.1 Caracterização da empresa estudada, onde serão abordados os temas Histórico, Estratégia corporativa, Gestão ambiental, Melhorias preventivas em processos, Adoção da Visão de Ciclo de Vida, Engenharia do Ciclo de Vida e Avaliação de Ciclo de Vida.

Por fim serão apresentadas as Conclusões parciais e recomendações na sessão 5.2.

5.1. Caracterização da empresa estudada

A empresa que serviu como objeto deste estudo de caso optou por não se identificar. Trata-se de uma empresa do setor automotivo, de grande porte, multinacional, fundada há mais de 70 anos. A Empresa A está presente no Brasil há mais de 60 anos, onde conta atualmente com 4 fábricas, todas localizadas no estado de São Paulo, e cerca de 22 mil funcionários.

5.1.1. Histórico

A empresa em questão sempre buscou uma posição de destaque em termos ambientais, adotando inciativas que vão além dos requisitos legais. Segundo o diretor corporativo de assuntos ambientais, a proteção ambiental está nos genes do grupo, que investe mais do que nunca em produtos eco-amigáveis e agora eles têm como objetivo se tornarem nº 1 no seu setor. A Figura 46 mostra algumas das iniciativas ambientais do grupo ao longo dos últimos anos e a meta para 2018.

5.1.2. Estratégia corporativa ambiental

A estratégia corporativa ambiental da empresa se baseia em dois pilares principais: padrões ambientais para produção e para produtos, como pode ser visto na Figura 47, que mostra uma representação esquemática da estratégia do grupo.

A Estratégia 2018 da empresa concentra-se no posicionamento do grupo como um líder econômico e ambiental mundial entre os fabricantes de automóveis. A sustentabilidade ecológica é um dos principais objetivos da empresa, que busca assumir um papel de liderança, estabelecendo um exemplo para outras companhias. A visão da empresa é: “Ser a companhia automotiva mais rentável, fascinante e sustentável”.

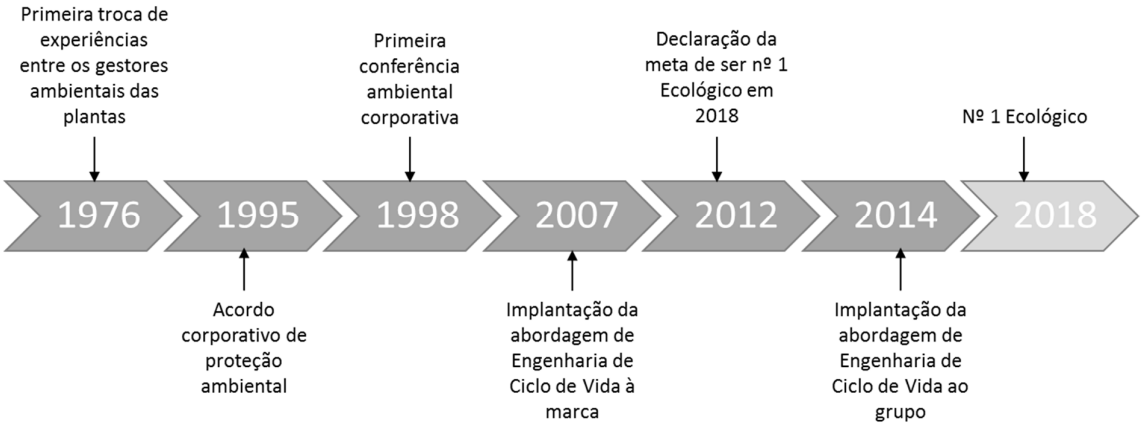


Figura 46 – Iniciativas ambientais desenvolvidas pela empresa nos últimos 40 anos e meta para 2018.

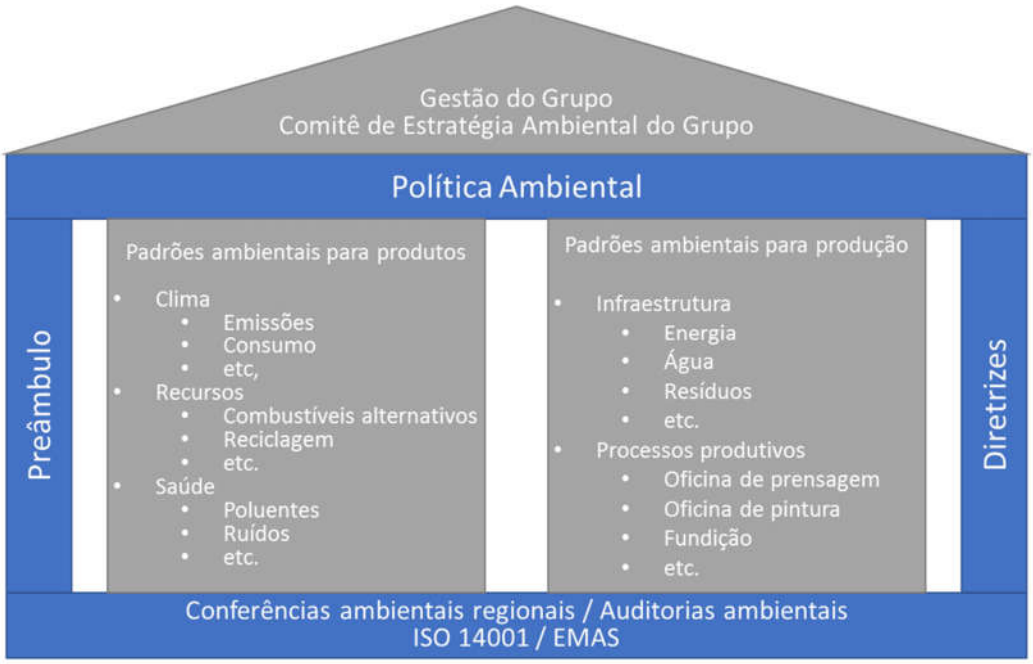


Figura 47 – Estratégia ambiental do grupo.

O objetivo da empresa de ser o nº 1 em termos ecológicos até o ano de 2018 se traduz em metas de redução de 25% no consumo de energia elétrica e térmica, água, geração de resíduos, CO_2 e solventes. Além disso, a companhia define quatro áreas alvo:

- Liderança em produtos sustentáveis;
- Nº 1 para a conservação de recursos ao longo do ciclo de vida;

- Nº 1 para mobilidade inteligente;
- Disseminação na empresa.

Para se tornar número 1 para a conservação de recursos ao longo do ciclo de vida, o grupo reconhece a importância da redução dos impactos, particularmente emissão de CO_2, em todos os estágios do ciclo de vida. Desta forma, o compromisso da empresa é produzir produtos que sejam ambientalmente superiores ao seu predecessor e também reduzir sua pegada ambiental como um todo, com 25% de redução de energia e consumo de água e de geração de CO_2, de solventes e de resíduos na etapa de fabricação, em comparação à linha de base de 2010.

A disseminação da empresa consiste em promover a disseminação de informações e qualificação entre os funcionários para que eles possam atuar ativamente na busca pela sustentabilidade. Além disso, o grupo busca inserir considerações ambientais dentro de todas as decisões tomadas.

A empresa busca ainda o envolvimento de cada unidade de negócios em todas as fases da cadeia de valor, estabelecendo metas mensuráveis para cada módulo, que irão contribuir conjuntamente para a meta corporativa. Existem comitês e estruturas através de todo o grupo que realizam a gestão dos assuntos ambientais, compartilhando sistematicamente as melhores práticas em uma rede global.

5.1.3. Gestão ambiental

Para a empresa, a questão ambiental é vista como um diferencial de competitividade e, portanto, segundo seu diretor executivo de assuntos ambientais, a empresa busca desenvolver cada um de nossos produtos de forma que ele tenha, ao longo de todo seu ciclo de vida, um desempenho ambiental superior ao de seu predecessor.

O sistema de gestão da empresa baseia-se em três níveis de abordagem: marca, produtos e processos. A Figura 48 apresenta uma representação esquemática do sistema de gestão ambiental da empresa.

A empresa estudada possui um sistema de gestão ambiental certificado segundo a norma ISO 14001. O sistema de gestão é embasado em uma política ambiental, que se traduz em metas os objetivos ambientais. Dentre as metas ambientais, existem metas próprias para os processos produtivos. Estas metas são monitoradas por meio de indicadores de desempenho

ambiental que incluem consumo de utilidades (energias elétrica e térmica, consumo de água), geração de resíduos (emissões atmosféricas e resíduos sólidos) e indicadores relacionados ao desempenho ambiental de produtos.

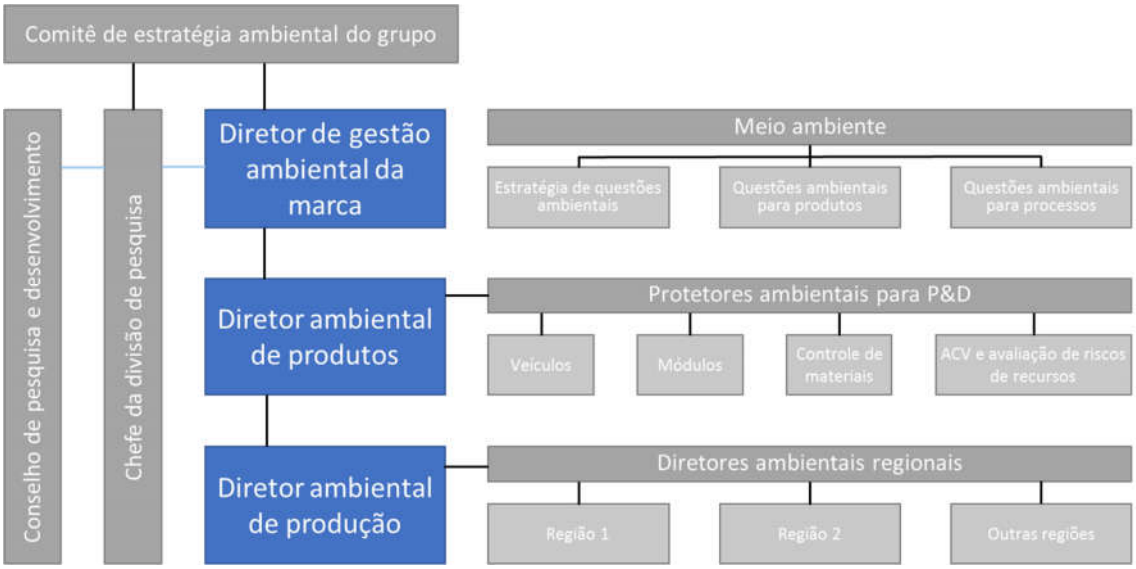


Figura 48 – A gestão ambiental no grupo.

A gestão ambiental é dividida entre a gestão de processos e a gestão de produtos, sendo a gestão de processos associada à área de Gestão de Operações e a gestão de produtos associada à área de Desenvolvimento de Produto.

Para a gestão de processos, a empresa conta um sistema formal e estruturado para a gestão de melhorias ambientais, que envolve todas as etapas do processo produtivo, além da parte administrativa e de suporte para as operações. A gestão ambiental dos processos baseia-se em um programa próprio da empresa para a gestão ambiental em processos que envolve a padronização e gestão sistemática de indicadores ambientais. As oportunidades de melhorias ambientais em processos são identificadas durante reuniões periódicas de uma equipe responsável pela troca de conhecimentos e identificação de Melhores Práticas de Operação.

5.1.4. Melhorias ambientais preventivas em processos

A empresa pratica a melhoria ambiental preventiva em seu processo produtivo com foco na eficiência no uso de recursos (*resource efficiency*). Todas as variáveis ambientais relacionadas à tomada de decisões ambientais sobre processos produtivos são constantemente monitoradas, inclusive aquelas provenientes das Avaliações de Ciclo de Vida. Estas

informações são usadas não apenas no âmbito técnico-operacional, mas também na definição de políticas e estratégias corporativas, como por exemplo, no plano de investimentos.

A empresa busca constantemente formas de melhorar a eficiência no uso de materiais e recursos nas fábricas, em todas as fases do ciclo de vida e da cadeia de valores. Todos os funcionários são encorajados a questionar os processos usuais e fazer pleno uso de inovações ecológicas na eficiência de recursos. A empresa conta com um Grupo Diretor de Eficiência no Uso de Recursos que tem se encarregado de coletar as melhores práticas e torná-las acessíveis a todas as marcas do Grupo.

5.1.5. Adoção da Visão de Ciclo de Vida

Diversos fatores evidenciam a adoção da Visão de Ciclo de Vida pela empresa, dentre eles seu programa (chamado aqui de "Programa A") de busca por produtos e soluções ecológicas, que tem como objetivo motivar a um comportamento mais responsável e contribuir para um futuro sustentável, liderando pelo exemplo.

O Programa A é focado em promover melhorias ao longo de todo o ciclo de vida de seus produtos, e faz isso com base nas informações obtidas a partir da Avaliação de Ciclo de Vida de seus produtos, realizada utilizando-se o software GaBi4®. A empresa conta ainda com um grupo de trabalho focado na Engenharia do Ciclo de Vida.

A adoção da Visão de Ciclo de Vida pela empresa é fundamentada na aplicação da Engenharia de Ciclo de Vida, que tem como base o uso da ferramenta Avaliação de Ciclo de Vida, usada como prática fundamental no monitoramento da evolução dos indicadores ambientais, na análise comparativa entre processos produtivos atuais e futuros, como suporte nas decisões de investimentos futuros.

Para a aplicação da ACV, a empresa segue as diretrizes da norma ISO 14040 e utiliza o software GaBi6. A realização das ACVs ocorre de acordo com orientações internas do setor de sustentabilidade corporativa da empresa. O escopo de abrangência da ACV é, na maioria dos estudos, do "berço ao portão" e, em alguns casos, adota-se parcialmente a abrangência do "berço ao túmulo".

Atualmente, a maior demanda interna para a utilização da Avaliação de Ciclo de Vida na está associada aos processos produtivos, e em menor escala aos produtos. Os resultados das ACVS

subsidiam a avaliação das melhorias nos processos comparando-as aos anteriores, identificam eventuais necessidades futuras e subsidiando decisões sobre investimentos.

5.1.6. Engenharia do Ciclo de Vida

Em 2013, a empresa deu início ao Grupo de Trabalho Corporativo de Engenharia de Ciclo de Vida, no qual experts das marcas trabalham em conjunto para gerar diretrizes e métodos para as Avaliações de Ciclo de Vida através do grupo. O grupo dá apoio e promove a transferência de boas-práticas de casos de sucesso de projetos de Engenharia de Ciclo de Vida.

Para a empresa, alguns dos fatores de sucesso para a Engenharia do Ciclo de Vida são:

- Organização:
    - Estratégia clara, metas e responsabilidades;
    - Integração da engenharia de ciclo de vida no processo de desenvolvimento.
- Analise:
    - Processo rentável para a ACV;
    - Resultados confiáveis e estáveis;
    - Identificação de *hotspots*;
- Otimização:
    - Transferência dos resultados da ACV em metas técnicas mensuráveis;
    - Medidas com a melhor relação esforço/ganho.
- Comunicação:
    - Transparência e credibilidades;
    - Meios adaptados aos diferentes stakeholders.

Segunda a empresa, para as pesquisas, o foco deve ser o desenvolvimento de modelos, softwares e base de dados de ACV robustos e de custo eficaz.

5.1.7. Avaliação de Ciclo de Vida

Para indústrias altamente inovadoras como a automotiva, o uso de dados de inventário de alta qualidade para se analisar o perfil ambiental de novos materiais e tecnologias é essencial, o que se torna um desafio devido à falta de informações nos estágios iniciais do projeto. Porém, para a empresa, isso não é um impedimento para a aplicação da ACV; as informações desconhecidas podem ser usadas para o estabelecimento de metas para, por exemplo,

calcular o consumo máximo de energia aceitável para um novo processo produtivo visando uma determinada meta ambiental.

Para exemplificar esta correlação entre as Avaliações de Ciclo de Vida, o desenvolvimento de novos produtos e de novos processos, a empresa apresenta o caso do design leve de automóveis, mostrado na Figura 49. No caso em questão, a geração de impactos na fase de uso é menor para o design superleve, porém, o maior impacto na fase de produção torna essa alternativa inviável. Existe, portanto, um "design inteligente", que otimiza as relações entre impactos ambientais na fase de produção e de uso, chegando a uma emissão total ao longo do ciclo inferior ao modelo convencional.

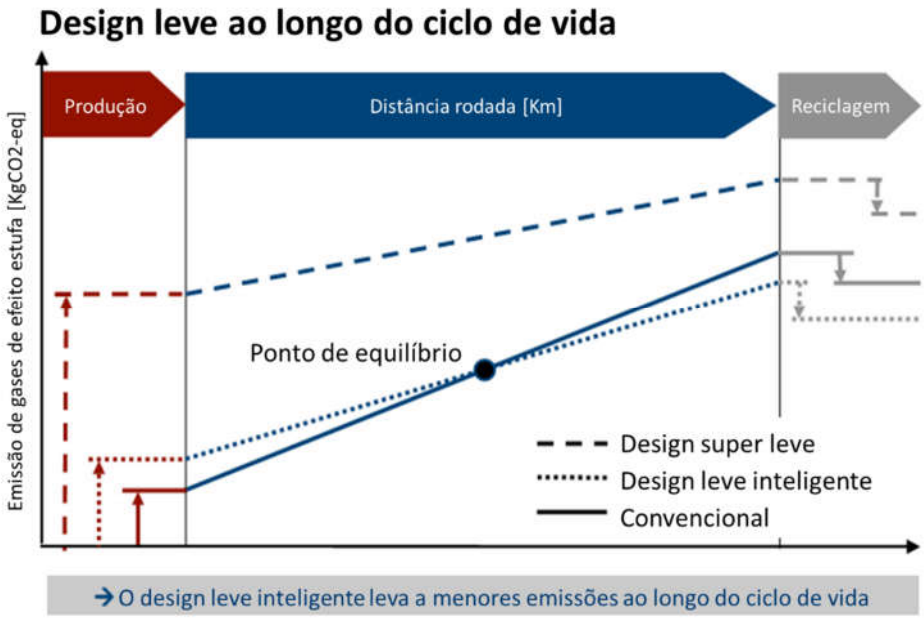


Figura 49 – O design leve de veículos e o ponto de equilíbrio do ciclo de vida.

5.2. Conclusões parciais e recomendações

- Trata-se de uma empresa de grande porte presente no mercado há muitas décadas, na qual questão ambiental sempre esteve presente, o que se intensificou a partir do final dos anos 1990. A questão ambiental está plenamente integrada à estratégia da empresa por meio da estratégia corporativa ambiental. Esta estratégia se traduz em metas ambientais que permeiam todos os níveis da companhia, chegando até o nível operacional. As metas operacionais funcionam como o combustível, movimentando a complexa estrutura de gestão ambiental da empresa para que as metas ambientais corporativas possam ser atingidas.

- As metas ambientais operacionais dividem-se em metas para produtos e para processos, monitoradas por meio da análise constante dos Indicadores de desempenho. Para o estabelecimento de metas, a empresa baseia-se em "linhas de base", que servem como referência. Estas referências garantem que os novos processos e produtos serão ambientalmente superiores a seus predecessores.

RECOMENDAÇÃO 15: *Integração da questão ambiental à estratégia da empresa, atrelada à visão de ciclo de vida. A partir desta estratégia, derivar objetivos e metas operacionais, garantindo a continuidade dos programas de melhoria ambiental e direcionando a implantação da P+L com a visão de ciclo de vida.*

- A gestão ambiental na empresa possui um elevado grau de complexidade e maturidade, sendo classificada dentro do Modelo de Maturidade de Capacidade de Gestão do Ciclo de Vida como um nível de maturidade Efetivo. Sua estrutura baseia-se em múltiplos níveis para a gestão ambiental, que incluem: marcas, produtos e processos.
- A gestão ambiental em processos baseia-se em um programa próprio da empresa para a eficiência no uso de recursos. O programa adota um sistema formal e estruturado para gestão de melhorias, que inclui: padronização e gestão sistemática de indicadores, reuniões periódicas da equipe responsável, troca de conhecimentos e identificação de oportunidades com base nas Melhores Práticas de Operação.
- O programa de melhorias ambientais em processos utiliza as informações provenientes das ACVs, que são realizadas por outro setor (ligado a produtos). Além da equipe dedicada, o programa conta com a participação de todos os funcionários. A troca de informações ambientais é feita com base em comitês dedicados ao compartilhamento de melhores práticas entre diferentes unidades, departamentos e níveis dentro da empresa.

RECOMENDAÇÃO16: *Criação de mecanismos (comitês, sistemas de registro, etc.) para facilitar o trânsito de informações ambientais entre setores e entre unidades da empresa.*

RECOMENDAÇÃO17: *Identificação de oportunidades de P+L com base não apenas no diagnóstico do sistema produtivo, mas também em melhores práticas disponíveis interna e externamente.*

RECOMENDAÇÃO18: *Divulgação das práticas de P+L adotadas e dos resultados atingidos, como forma de fermentar a Produção mais Limpa em toda a cadeia e estimular o processo de melhoria contínua (por exemplo: divulgação de relatórios ambientais, declaração de estratégias, políticas e metas).*

RECOMENDAÇÃO19: *Uso os resultados do monitoramento dos indicadores ambientais para processos para auxiliar a definição de políticas e estratégias cooperativas, garantindo a melhoria contínua do processo.*

- A empresa coloca em prática a Visão de Ciclo de Vida por meio da Engenharia de Ciclo de Vida. A principal ferramenta utilizada é Avaliação de Ciclo de Vida segundo as normas ISSO 14040. Para dar um foco ainda maior à VCV, a empresa desenvolveu um programa específico com a finalidade de promover melhorias ambientais no ciclo de vida de seus produtos.
- A empresa busca inserir a VCV desde as etapas iniciais do desenvolvimento de produtos e se depara frequentemente com a falta de informações, especialmente devido à natureza inovadora dos processos e produtos envolvidos. Para lidar com este problema, a empresa sugere que as metas ambientais sejam usadas para determinar valores "aceitáveis" para os dados ainda desconhecidos.

RECOMENDAÇÃO20: *Ao se lidar com informações desconhecidas no desenvolvimento de novos processos ou produtos, determinar, com base nas metas ambientais, valores "aceitáveis" dos parâmetros analisados.*

- A ACV é usada para: monitoramento dos indicadores ambientais, análise comparativa de processos atuais e futuros, suporte às decisões sobre investimentos e identificação de *hotspots*. Atualmente, a principal aplicação da ACV na empresa é na comparação de processos produtivos, visando sua melhoria em comparação com os processos anteriores e embasando decisões sobre investimentos futuros.
- Para a empresa, o sucesso da aplicação da ACV depende de métodos rentáveis e resultados confiáveis e estáveis. Além disso, é essencial que os resultados sejam traduzidos em metas técnicas mensuráveis.

- Como usuária intensiva do método de ACV, a empresa recomenda para futuras pesquisas o foco no desenvolvimento de métodos de ferramentas de ACV (em especial, softwares) robustos e de custo eficaz.

RECOMENDAÇÃO21: *Na seleção dos métodos e ferramentas de análise do ciclo de vida, os usuários devem levar em conta os requisitos de recursos necessários, incluindo tempo, dinheiro e recursos humanos.*

6. INTEGRAÇÃO

Nesta sessão são apresentadas as etapas do processo de integração proposto e os resultados do capítulo.

6.1. Guia modelo de P+L: análise das entradas e saídas

O ponto de partida para a proposta de integração da Visão de Ciclo de Vida na Produção mais Limpa foi o estudo detalhado das etapas e atividades da Produção mais Limpa com base no guia modelo de P+L (COWI, 2000), selecionado na etapa de estudo dos guias (3.2.1 Guia modelo).

A partir deste guia, foram analisadas em detalhes cada uma das etapas e atividades da P+L. Para cada uma destas atividades, buscou-se identificar quais eram suas entradas e suas saídas, isto é, quais eram as informações e dados necessários para se dar início à atividade, e quais eram as informações obtidas ao final desta atividade. Foi também analisada a natureza qualitativa ou quantitativa destes entradas e saídas.

Na etapa de Avaliação, por exemplo, uma das atividades a serem executadas segundo o guia adotado é a realização de um Balanço de Massa e de Energia. Para esta atividade, as entradas necessárias são o consumo de recursos por quantidade produzida e a geração de resíduos por quantidade produzida, ambos de natureza quantitativa. A saída desta atividade será o balanço de massa que pode ser apresentado, por exemplo, na forma de um fluxograma quali ou quantitativo.

Os resultados desta análise das entradas e saídas são apresentados na forma de um quadro mostrado no APÊNDICE V – Quadro de entradas e saídas das atividades de Produção mais Limpa.

6.2. Práticas da EGCV: análise das entradas e saídas

Um processo análogo foi realizado para se estudar as entradas e saídas das práticas da EGCV identificadas na sessão 4.4 Práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo De Vida. Para cada uma

das práticas, foram estudas suas etapas e atividades, e quais eram as entradas e saídas, além de sua natureza quali ou quantitativa.

Para a Planilha de ACV, por exemplo, as entradas são o Produto foco da avaliação, as Etapas do ciclo de vida do produto, as Matérias-primas, energia e água consumidos e os Resíduos gerados em todas as fases do CV. Todos estas informações podem ser tanto na forma qualitativa quanto quantitativa. A saída, neste caso, é uma Planilha de ACV com informações sobre CV do produto.

Esta etapa baseou-se não apenas nos dados sobre as práticas, apresentado na sessão 4.4 Práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo De Vida, mas também no trabalho de Pigosso, Guelere Filho e Rozenfeld (2013) que realizaram, entre outras coisas, a análise de diversos métodos e ferramentas do Ecodesing com base em seus dados de entrada e saída.

Os resultados para todas as práticas foram organizados na forma de um quadro que se encontra no APÊNDICE VI – Práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida: Dados e informações de entrada e saída.

6.3. Comparação dos entradas e saídas

O próximo passo na identificação das oportunidades foi a comparação destes quadros de entradas e saídas da P+L e das práticas da ECGV a fim de se identificar possíveis complementariedades entre os dois. Na etapa de Identificação das Oportunidades, por exemplo, busca-se elaborar uma Lista geral de oportunidades de P+L, a partir de conhecimento prévio e criatividade da equipe; informações externas de especialistas, guias, fornecedores, clientes, organizações, universidades, etc.; balanço de massa e energia e processos com potencial para grande benefício com a P+L. Identificou-se que a Matrix DfE apresenta-se como uma possível ferramenta para auxiliar o processo, pois, com base em um balanço de massa (que deve levar em conta todo o ciclo de vida do produto), identifica os pontos críticos e que podem servir como oportunidades de melhoria da P+L.

O resultado da identificação destas compatibilidades foi compilado na forma de um quadro presente no APÊNDICE VII – Integração das práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida nas Etapas da Produção mais Limpa.

Os resultados desta análise indicam que diversas práticas da EGCV realizam a análise ambiental dos produtos com base em suas funções, como por exemplo a Avaliação de Ciclo de Vida e a Matrix Ecofuncional. Assim como os produtos, todos os processos de manufatura também apresentam uma função que tem como objetivo a produção de um produto (REVELLE; MORAN; COX, 1998). Desta forma, estas ferramentas podem ser adaptadas para serem utilizadas na análise de processos.

Os resultados indicam também que existem diversas ferramentas da EGCV, em especial no Ecodesign, que consistem em matrizes para a análise ambiental de produtos. Estas matrizes, como a Matriz *Design for the Environment* (DfE) e a matriz de Análise de Efeito Ambiental (AEA), permitem avaliar os potenciais impactos de um produto ao longo de seu ciclo de vida e ajudam a identificar quais são as etapas mais críticas do ciclo de vida e quais são os aspectos ambientais mais críticos. Este tipo de ferramenta possui um grande potencial para ser usado em duas das fases da P+L: na Avaliação (onde é feito um diagnóstico da situação atual) e no Estudo de Viabilidade (onde é avaliada a viabilidade das oportunidades de P+L propostas).

6.4. As recomendações para a integração

A partir dos resultados do Capítulo 3 PRODUÇÃO MAIS LIMPA, foram obtidas diversas recomendações que visam auxiliar os usuários na implantação da Produção mais Limpa integrada à Visão de Ciclo de Vida. Estas recomendações são compiladas a seguir:

RECOMENDAÇÃO 1: *Inclusão de uma revisão teórica sobre a Visão de Ciclo de Vida, por meio de materiais como Remmen, Jensen e Frydendal (2007), Remmen e Münster (2003), UNEP/SETAC (2009), UNEP (2004).*

RECOMENDAÇÃO 2: *Adoção da Visão de Ciclo de Vida na Produção mais Limpa, não apenas limitada a produtos, mas também nas melhorias em processos.*

RECOMENDAÇÃO 3: *Expansão do escopo da análise dos impactos ambientais, que não deve ser limitado às fronteiras da empresa, por meio de uma avaliação do ciclo de vida que pode ser:*

- *Avaliação simples, qualitativa;*

- *Avaliação profunda, quali-quantitativa;*
- *Avaliação de Ciclo de Vida Completa (ISO 14040), quantitativa.*

A decisão da profundidade da análise deve ser baseada em:

- *Disponibilidade de dados;*
- *Disponibilidade de recursos;*
- *Aplicação pretendida.*

Materiais auxiliares: ICCA (2013).

RECOMENDAÇÃO 4: *Preferência, quando possível, para uso de materiais e processos que tenham seu ciclo de vida conhecido.*

RECOMENDAÇÃO 5: *Adoção de um procedimento de hierarquização para implantação das oportunidades de Produção mais Limpa que leve em conta simultaneamente aspectos técnicos, econômicos e, principalmente ambientais, considerando-se todo o ciclo de vida, com base em:*

- *Classificação de LaGrega, Buckingham e Evans (1994) das medidas preferíveis de P+L;*
- *Ferramentas de análise de custo-benefício. Material auxiliar: (US EPA, 1995).*

RECOMENDAÇÃO 6: *Consideração dos ganhos associados à sustentabilidade da companhia, como aumento da vantagem competitiva ou melhoria na imagem da empresa, na quantificação dos benefícios ambientais e econômicos das oportunidades de Produção mais Limpa identificadas. Materiais auxiliares: KPMG (2011), UNEP FINANCE INITIATIVE; WBCSD (2010).*

RECOMENDAÇÃO 7: *A empresa que pratica a Produção mais Limpa deve buscar a colaboração e atuação próxima de seus fornecedores e clientes proporcionando:*

- *Difusão de informações e dados sobre o desempenho ambiental dos processos e produtos ao longo de seu ciclo de vida;*
- *Difusão sobre boas práticas, inclusive a P+L, por meio de treinamentos e material de divulgação.*

Material de apoio: REMMEN; JENSEN; FRYDENDAL (2007), UNEP/SETAC (2009).

RECOMENDAÇÃO 8: *Atuação em toda a cadeia de valores por meio da aplicação dos conceitos de Compras Verdes e Gestão da Cadeia de Suprimentos Verde. Material de apoio: INTERNATIONAL GREEN PURCHASING NETWORK (2010), UNEP (2013), BEAMON (1999).*

RECOMENDAÇÃO 9: *Estabelecimento de um canal de comunicação com consumidores para transferência de informações sobre o desempenho ambiental da empresa e melhores práticas na etapa de uso e descarte dos produtos. Material auxiliar: (THORSTEINSDOTTIR, 2015), (G.R.I., 2015), (DALAL-CLAYTON; BASS, 2002)*

RECOMENDAÇÃO 10: *Adoção de indicadores globais de desempenho ambiental como Pegadas (água, carbono, etc.).*

RECOMENDAÇÃO 11: *Uso da Avaliação de Ciclo de Vida para a identificação, análise e comparação de oportunidades de P+L.*

RECOMENDAÇÃO 12: *Adoção de métodos, ferramentas, softwares e modelos matemáticos que auxiliem a tomada de decisão envolvendo múltiplos critérios nas etapas de Estudo de Viabilidade e Planejamento e Organização da P+L. Material de apoio: (KHAN; NATRAJAN; REVATHI, 2001), (WOLDT; DVORAK; DAHAB, 2003), (PINEDA-HENSON; CULABA, 2004), (GELDERMANN; RENTZ, 2005), (KHALILI; EHRLICH; EDDINE, 2013), (KHOSHNEVISAN et al., 2015)*

RECOMENDAÇÃO 13: *Aplicação de ferramentas de avaliação de ciclo de vida ao design de novos processos que sejam mais limpos desde seu projeto. Material de apoio: (ALLEN, 1994), (CUNAN, 1995), (KHAN; SADIQ; HUSAIN, 2002), (CURRAN; SCHENCK, 2001), (KHAN; NATRAJAN; REVATHI, 2001), (PENNINGTON et al., 2003), (THURSTON; SRINIVASAN, 2003), (KHAN; SADIQ; VEITCH, 2004), (BONVOISIN et al., 2013)*

RECOMENDAÇÃO 14: *Aplicação de ferramentas de avaliação de ciclo de vida voltada para a análise de processos. Material de apoio: (KHAN; NATRAJAN; REVATHI, 2001), (KHAN; SADIQ; VEITCH, 2004), (KHAN; SADIQ; VEITCH, 2004), (HOSSAIN; KHAN; HAWBOLDT, 2008)*

RECOMENDAÇÃO 15: *Integração da questão ambiental à estratégia da empresa, atrelada à visão de ciclo de vida. A partir desta estratégia, derivar objetivos e metas operacionais, garantindo a continuidade dos programas de melhoria ambiental e direcionando a implantação da P+L com a visão de ciclo de vida.*

RECOMENDAÇÃO16: *Criação de mecanismos (comitês, sistemas de registro, etc.) para facilitar o trânsito de informações ambientais entre setores e entre unidades da empresa.*

RECOMENDAÇÃO17: *Identificação de oportunidades de P+L com base não apenas no diagnóstico do sistema produtivo, mas também em melhores práticas disponíveis interna e externamente.*

RECOMENDAÇÃO18: *Divulgação das práticas de P+L adotadas e dos resultados atingidos, como forma de fermentar a Produção mais Limpa em toda a cadeia e estimular o processo de melhoria contínua (por exemplo: divulgação de relatórios ambientais, declaração de estratégias, políticas e metas).*

RECOMENDAÇÃO19: *Uso os resultados do monitoramento dos indicadores ambientais para processos para auxiliar a definição de políticas e estratégias cooperativas, garantindo a melhoria contínua do processo.*

RECOMENDAÇÃO20: *Ao se lidar com informações desconhecidas no desenvolvimento de novos processos ou produtos, determinar, com base nas metas ambientais, valores "aceitáveis" dos parâmetros analisados.*

RECOMENDAÇÃO21: *Na seleção dos métodos e ferramentas de análise do ciclo de vida, os usuários devem levar em conta os requisitos de recursos necessários, incluindo tempo, dinheiro e recursos humanos.*

6.5. Considerações finais e conclusões

- Os resultados da etapa de Integração mostram que existem muitas práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida que podem ser usadas para integrar a Visão de Ciclo de Vida à Produção mais Limpa, cumprindo o objetivo proposto. É importante destacar que o presente trabalho se baseou apenas em uma pequena amostra de práticas da EGCV disponíveis e acredita-se, portanto, que muitas outras oportunidades de integração de práticas de EGCV nas etapas da P+L possam ser ainda identificadas.
- As principais oportunidades de se integrar as práticas da ECGV estudadas às etapas da P+L estão concentradas nas etapas de Pré-avaliação, Avaliação e Análise de Viabilidade ambiental.

- Muitas das práticas voltadas para a análise de ciclo de vida de produtos se baseiam na função desempenhada pelo mesmo para realizar a análise, como a ACV e a Matriz Ecofuncional. Estes procedimentos podem ser adaptados para serem utilizados na análise de processos, baseando-se nas funções desempenhadas pelos processos.
- A inserção da Visão de Ciclo de Vida na Produção mais Limpa depende, primeiramente, da disseminação da importância e significado desta nova abordagem. A expansão do escopo das melhorias preventivas em processos para que se passe a levar em conta os impactos ao longo ciclo de vida depende da conscientização dos praticantes da P+L e para isso, é essencial que os materiais de treinamento e os guias de P+L passem a abordar esta questão.
- A profundidade da análise de ciclo de vida no contexto da P+L dependerá de diversos fatores como disponibilidade de dados e recursos de da aplicação pretendida. Uma abordagem que pode auxiliar os usuários na definição do grau de profundidade adequado e da prática da EGCV a ser usada é a abordagem de níveis de maturidade de capacidade em Gestão do Ciclo de Vida. A definição de níveis de maturidade auxilia as empresas a definir quais são os próximos passos para se atingir uma maior maturidade de capacidade, promovendo a melhoria contínua. Recomenda-se, portanto, que trabalhos futuros se aprofundem neste tema.
- Na aplicação da Produção mais Limpa é importante não apenas a identificação das oportunidades melhoria, mas também sua hierarquização para futura implantação das oportunidades. Para isso, os usuários devem se basear nas medidas preferíveis de P+L e, principalmente, na avaliação da viabilidade econômica, técnica e ambiental que deve levar em conta os impactos e os benefícios ao longo do ciclo de vida.
- Ao se implantar a P+L, é importante quantificar corretamente quais são os impactos ambientais dos processos atuais e das alternativas propostas, com base em seu ciclo de vida. A abordagem de ciclo de vida também é essencial para garantir que todos os ganhos e benefícios sejam quantificados adequadamente, permitindo uma análise adequada da viabilidade dos projetos.
- A colaboração com todos os envolvidos na cadeia de valores, incluindo fornecedores e clientes, para troca de informações ambientais e de experiências é

essencial para a implantação da P+L com a visão de ciclo de vida, uma vez que a falta de informações é uma das principais barreiras encontradas. Para isso, as empresas devem desenvolver mecanismos adequados de transferência de informações, de fiscalização e monitoramento por meio, por exemplo, de relatórios ambientais e divulgação de indicadores. A colaboração também é importante para a divulgação de melhores práticas e desenvolvimento de soluções em parceria.

- A implantação da Produção mais Limpa envolve uma grande quantidade de dados e informações, que resultam no surgimento de *trade-offs* difíceis de serem analisados. Esta barreira torna-se ainda mais significativa quando se adota uma perspectiva de ciclo de vida, o que aumenta o escopo da P+L. O uso de ferramentas da EGCV para auxiliar a tomada de decisões com múltiplos critérios, como as identificadas neste estudo, pode ajudar a solucionar este problema.
- Os resultados também reforçam a importância de se integrar a questão ambiental, em particular a abordagem preventiva e de ciclo de vida, à estratégia da empresa. Isso garante a continuidade dos programas e projetos ambientais.

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da presente pesquisa, em especial das etapas de revisão simples e sistemática da literatura, indicam que a questão da integração da Visão de Ciclo de Vida na Produção mais Limpa é uma questão atual, pertinente e relevante. A não consideração do ciclo de vida no processo de implantação de P+L mostrou-se uma significativa lacuna, tanto na teoria (nos guias de P+L), quanto na prática (nos casos de sucesso de P+L).

A análise dos Guias de P+L mostrou que eles são antigos e estão, portanto, desatualizados. Estes guias abordam de forma incipiente a adoção da Visão de Ciclo de Vida, que não é sequem mencionada em alguns deles. Além disso, poucas ferramentas de apoio são oferecidas e materiais auxiliares apresentados. Os guias são mais focados em "o que fazer" e não tanto em "como fazê-lo" e, portanto, este resultado reforça a necessidade de pesquisas que, como a presente, buscam contribuir de forma prática para a inserção da Visão de Ciclo de Vida na P+L fornecendo ferramentas e recomendações para auxiliar os praticantes e pesquisadores da P+L.

Dentre as lacunas identificadas nos guias de P+L estão: a falta de uma revisão teórica sobre a importância da abordagem de ciclo de vida; a consideração do ciclo de vida principalmente nas melhorias em produtos, mas não nas melhorias em processos; a falta de informações para apoiar as decisão sobre o grau de profundidade das análises do ciclo de vida necessárias e das práticas da EGCV utilizadas para este fim; a falta de informações e ferramentas para apoiar as decisões sobre a hierarquização das opções de P+L e a quantificação adequada dos impactos e dos benefícios ambientais com base no ciclo de vida; ausência de práticas para auxiliar a colaboração ao longo de toda a cadeia de valor.

Outra importante lacuna é a falta de ferramentas para auxiliar os usuários e pesquisadores da P+L na gestão de *trade-offs* e tomada de decisões envolvendo múltiplos critérios. A RBS mostrou que vários autores têm se dedicado a este problema, e o presente trabalho busca também contribuir para que a lacuna seja preenchida.

Nos casos de sucesso de P+L, embora algumas evidências da adoção da Visão de Ciclo de Vida tenham sido identificadas, conclui-se que esforços para se inserir de forma sistêmica a Visão de Ciclo de Vida na Produção mais Limpa ainda são necessários. A análise dos casos reforça a

importância de se identificar e quantificar corretamente não apenas os impactos ambientais, mas também os benefícios obtidos ao logo do ciclo de vida. Reforça também a importância da colaboração entre os atores da cadeia de valores.

Diversos autores têm se dedicado a contribuir para a inserção da Visão de Ciclo de Vida nas melhorias preventivas em processo, como mostrado na revisão sistemática da literatura (RBS), porém, os resultados indicam também que diversas lacuna ainda precisam ser preenchidas. O estudo de caso, por sua vez, mostrou que a integração da Visão de Ciclo de Vida nas melhorias preventivas em processos produtivos já é uma realidade em empresas com elevado grau de maturidade na gestão ambiental, como a empresa estudada.

O método adotado na pesquisa mostrou-se eficiente para atingir o objetivo de contribuir para o processo de integração da Visão de Ciclo de Vida à Produção mais Limpa, fornecendo informações que auxiliem os usuários na implantação de um modelo de P+L que considere a Visão de Ciclo de Vida. Diversas práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida puderam ser identificadas e as oportunidades de integração, resultando em diversas oportunidades de integração, conforme apresentado no APÊNDICE VII – Integração das práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida nas Etapas da Produção mais Limpa.

É importante destacar que existem diversas formas de se promover a integração entre a Visão de Ciclo de Vida e as melhorias preventivas em processos. O presente trabalho teve como objetivo contribuir para que esta integração seja possível, servindo como um exemplo e ponto de partida para futuras pesquisa. O campo da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida está em pleno desenvolvimento, com o surgimento de novas práticas, e, portanto, outras oportunidades de integração continuarão surgindo nos anos futuros. Estas oportunidades devem ser exploradas pelos pesquisadores e praticantes da Produção mais Limpa e da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida.

A grande maioria dos casos analisados, trata da P+L como a execução de projetos pontuais de melhoria e não como um sistema de gestão de melhorias, como proposto na literatura e nos guias. Nenhum deles mencionou o uso dos guias ou de uma forma sistemática de implantação. A mesma tendência foi observada na análise dos trabalhos da RBS, onde apena um deles fez uso de guias e de um procedimento estruturado de gestão de melhorias preventivas. Esta questão deve ser investigada em maior detalhe por trabalhos futuros.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3M, 2014. 3P - **POLLUTION PREVENTION PAYS** [WWW DOCUMENT]. URL HTTP://SOLUTIONS.3M.COM/WPS/PORTAL/3M/EN_US/3M-SUSTAINABILITY/GLOBAL/ENVIRONMENT/3P/#3P

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040 Gestão Ambiental – Avaliação de ciclo de vida – Princípios e estrutura. Brasil: ABNT, 2009. 22p

ALLEN, D. T. et al. Environmentally Benign Manufacturing: Trends in Europe, Japan and the USA, 2002. **ASME Journal of Manufacturing Science**, 124 (4), 908-20.

ALLEN, D. T. **Pollution Prevention**: Engineering Design at Macro-, Meso and Micro Scales, in Advances in Chemical Engineering, J. H. Sienfeld, ed., Academic Press (1994).

ALLEN, D. T.; ROSSELOT, K. S. Pollution prevention at the macro scale: flows of wastes, industrial ecology and life cycle analyses**. Waste Management**, v. 14, n. 3-4, p. 317–328, jan. 1994.

ALTING L.; LEGARTH J.B. Life cycle engineering and design. **Ann CIRP**. 1995. 44:569–580

AN, J.; XUE, X. Life cycle environmental impact assessment of borax and boric acid production in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 66, p. 121–127, mar. 2014.

ASHFORD, N. Reflections on the First Decade of the Journal of Cleaner Production. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, n. 2, p. 101–102, 2002.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial**: conceitos, modelos e instrumentos. São Paulo: Saraiva. 2007.

BARBIROLI, G.; RAGGI, A. A method for evaluating the overall technical and economic performance of environmental innovations in production cycles. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, n. 4, p. 365–374, jun. 2003.

BARROW, C. J. **Environmental Management for Sustainable Development**. Second Edition. p. 454, 2006.

BARTHEL, M. et al. Hotspots Analysis: Providing the Focus for Action. In: Sonnemann G, Margni M, editors**. Life cycle management**. Springer Open; 2015. p. 149–167.

BATES, W. E. et al. Development and weighting of a life cycle assessment screening model. **Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering**, v. 5262, n. Lcd, p. 210–218, 27 fev. 2004.

BAUMANN, H.; TILLMAN, A-M. 2004. **The hitch hiker's guide to LCA**: an orientation in life cycle assessment methodology and application. Studentlitteratur, Lund

BEAMON, B. M. Designing the green supply chain. **Logistics Information Management**, v. 12, n. 4, p. 332–342, 1999.

BIOLCHINI, J. et al.. **Systematic review in software engineering**. 2005. Technical report, Alberto Luiz Coimbra Institute - Graduate School and Research in Engineering/Federal University of Rio de Janeiro - Brazil.

BONVOISIN, J. et al. An implemented framework to estimate manufacturing-related energy consumption in product design. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 26, n. 9, p. 866–880, set. 2013.

BOURHIS, F. LE et al. Sustainable manufacturing: evaluation and modeling of environmental impacts in additive manufacturing. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 69, n. 9-12, p. 1927–1939, 13 jul. 2013.

BRUNDTLAND, G. Report of the World Commision on Environement and Development: Our Common Future. **Oxford paperbacks**, v. Report of, p. 400, 1987.

BURCHART-KOROL, D. Life cycle assessment of steel production in Poland: a case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 54, p. 235–243, set. 2013.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS**. Brasília, Brasil Edições Câmara, 2012.

CEBDS. **Guia da Produção mais Limpa**, Faça você mesmo. s.d. Rio de Janeiro. www.cebds.com. Acessado em Junho/2013.

CERVELINI, F. M.; SOUZA, M. T. S. A contribution of the Cleaner Production Program to the ISO 14001 Management System: a case study in the metal-mechanic sector. **Journal of Operations and Supply Chain Management**, v. 2, n. 1, art. 5, p. 61-76, 2009.

CESPI, D. et al. Life Cycle Assessment comparison of two ways for acrylonitrile production: the SOHIO process and an alternative route using propane. **Journal of Cleaner Production**, v. 69, p. 17–25, abr. 2014.

CETESB. **Produção e Consumo Sustentáveis**: Casos de Sucesso. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia-ambiental/producao-e-consumo-sustentavel /115-casos-de-sucesso---listagem-geral>. Acesso em: 19 Mai. 2014.

CHINH, L. D.; GHEEWALA, S. H.; BONNET, S. Integrated environmental assessment and pollution prevention in Vietnam: the case of anthracite production. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 18, p. 1768–1777, 2007.

CLIFT, R. Clean Technology - An introduction. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 62, n. 4, p. 321 –326, 1995.

CNTL - CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS. **Implementação de programas de produção mais limpa.** p. 46, 2003.

COBRA, R. L. R. B. Elaboração de roteiros de aplicação de métodos e ferramentas de ecodesign. Escola de Engenharia de São Carlos, **Universidade de São Paulo**. 2012.

COWI CONSULT. **Cleaner Production Assessment in Dairy Processing**. Paris: United Nations Environment Programme (UNEP), Division of Technology, Industry and Economics; Copenhagen: Danish Environmental Protection Agency (DEPA), 2000. 95 p.

CUNAN, M. A. U**sing LCA-Based Approaches to Evaluate Pollution Prevention**. 1995.

CURRAN, M. A.; SCHENCK, R. C. Pollution Prevention and Life Cycle Assessment. **Handbook of Pollution Control and Waste Minimization**, 2001.

DALAL-CLAYTON, B.; BASS, S. Communications. In: **ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT** (Ed.). . Sustainable Development DEVELOPMENT STRATEGIES: A RESOURCE BOOK. London, United kingdom: Earthscan Publications Ltd, 2002. p. 382.

DIAMOND, J. **Collapse**: How Societies Choose to Fail or Succeed. Penguin Books, 2005.

DOMINGUEZ-RAMOS, A.; ALDACO, R.; IRABIEN, A. Life cycle assessment as a tool for cleaner production: Application to aluminium trifluoride. **International Journal of Chemical Reactor Engineering**, v. 5, 2007.

DREXHAGE, J.; MURPHY, D. **Sustainable Development**: From Brundtland to Rio 2012. International Institute for Sustainable Development (IISD), 2012. Canada.

DUFLOU, J. et al. Pro-active Life Cycle Engineering Support Tools. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 52, n. 1, p. 29–32, 2003.

DVARIONIENE, J.; KRUOPIENE, J.; STANKEVICIENE, J. Application of cleaner technologies in milk processing industry to improve the environmental efficiency BT - Special Issue: Sustainable Consumption and Production: How to Make it Possible. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 14, n. 6, p. 1037–1045, 2012.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Circular Economy**. Disponível em: http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy. Acesso em: 01 Nov. 2015.

ENVIRONMENT CANADA. **Pollution Prevention Successes**. Disponível em: <http://www.ec.gc.ca/p2/default.asp?lang=En&n=36EB925F-1>. Acesso em: Dezembro, 2014.

EUROPEAN COMMISSION – JOINT RESEARCH CENTRE – INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY. 2010. **International Reference Life Cycle Data System** (ILCD) handbook - General guide for life cycle assessment - Detailed guidance. EUR 24708 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

EUROPEAN COMMISSION. **Integrated Product Policy** (IPP). European Commission. 1998. Disponível em: < http://ec.europa.eu/environment/ipp/>. Acesso em: 25 nov. 2013.

FAVA, J. A. LCA: concept, methodology, or strategy? **Journal of Industrial Ecology** 1(2):8–10. doi:10.1162/jiec.1997.1.2.8

FAVA, J. A.; PAGE, A. Application of product life-cycle assessment to product stewardship and pollution prevention programs. **Water Science and Technology. Anais...**1992Disponível em: http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0026448846&partnerID=tZOtx3y1

FINKBEINER, M.; WIEDEMANN, M.; SAUR, K. A comprehensive approach towards product and organisation related environmental management tools. **International Journal of Life Cycle Assessment**. 1998 3(3):169–178. doi:10.1007/BF02978825

FINKBEINER, M. **Towards life cycle sustainability management**. Springer, Dordrecht/ Heidelberg/London/New York. 2011.

FLORIDA R. **Lean and green**: the move to environmentally conscious manufacturing. California Management Review, 1996, 39: 80–105.

FRESNER, J. Cleaner production as a means for effective environmental management. **Journal of Cleaner Production**, v. 6, p. 171-179, 1998.

G.R.I. **G4 SUSTAINABILITY REPORTING**. Disponível em: <https://www.globalreporting .org/standards/g4/Pages/default.aspx>. Acesso em: 10 nov. 2015.

GAO, F. et al. Life cycle assessment of primary magnesium production using the Pidgeon process in China. The **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 14, n. 5, p. 480–489, 16 jun. 2009.

GELDERMANN, J.; RENTZ, O. Multi-criteria Analysis for Technique Assessment:Case Study from Industrial Coating. **Journal of Industrial Ecology**, v. 9, n. 3, p. 127–142, 8 jul. 2005.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GILL, J.; JOHNSON, P. **Research methods for managers.** 3rd ed. London, SAGE Publications Ltd, 2002.

GOEDKOOP, M. et al. How to Make the Life Cycle Assessment Team a Business Partner. In: SONNEMANN, G.; MARGNI, M. (Eds.). . **Life Cycle Management**. Netherlands: Springer Netherlands, 2015. p. 105–115.

GOLDIN, E. et al. Solar Powered Charge Stations for Electric Vehicles. **Environmental Progress**, v. 28, n. 3, p. 404–409, 2009.

GRAEDEL, T. E. Life-cycle assessment of electronics manufacturing processesProceedings of the IEEE/CPMT International Electronic Manufacturing Technology (IEMT) Symposium. **Anais...IEEE**, 1996Disponível em: http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0030421858&partnerID=tZOtx3y1

GUNGOR, A.; GUPTA, S. M. Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey. **Computers & Industrial Engineering**, v. 36, n. 4, p. 811–853, set. 1999.

HARBI, S. et al. Life Cycle Management as a Way to Operationalize Sustainability Within Organizations. In: SONNEMANN, G.; MARGNI, M. (Eds.). . **Life Cycle Management**. [s.l.] Springer Netherlands, 2015. p. 23–33.

HAUSCHILD, M.; JESWIET, J.; ALTING, L. From life cycle assessment to sustainable production: status and perspectives. **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, v. 54, n. 2, p. 121, 2005. Elsevier.

HEISKANEN, E. The institutional logic of life cycle thinking. **Journal of Cleaner Production**. 2002. 10(5):427–437. doi:10.1016/S0959-6526(02)00014-8

HELU, M.; VIJAYARAGHAVAN, A.; DORNFELD, D. Evaluating the relationship between use phase environmental impacts and manufacturing process precision. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 60, n. 1, p. 49–52, 2011.

HILSON, G. Defining “cleaner production” and “pollution prevention” in the mining context**.** **Minerals Eng**, v. 16, n. 4, p. 305–321, abr. 2003.

HOFFMAN, L., JENSEN, A. A., MØLLER, B. T., & SCHMIDT, A. Life-cycle assessment (LCA) – a guide to approaches, experiences and information source. **Environmental issues series**, n. 6, p. 1–119, 1997.

HOSSAIN, K. A.; KHAN, F. I.; HAWBOLDT, K. Sustainable development of process facilities: State-of-the-art review of pollution prevention frameworks. **Journal of Hazardous Materials**, v. 150, n. 1, p. 4–20, 2008.

Hunkeler, D. ET al. **Life cycle management**. SETAC, Pensacola FL, 2004.

HUSSEY, D. M.; EAGAN, P. D. Using structural equation modeling to test environmental performance in small and medium-sized manufacturers: can SEM help SMEs? **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 4, p. 303–312, 2007.

ICCA. **How to Know If and When it's Time to Commission a Life Cycle Assessment**. 2013. Disponível em: <http://lcacenter.org/lcaxiii/final-presentations/782.pdf>.

IGPD Instituto de Gestão e Desenvolvimento de Produtos. **Portal de Conhecimentos.** Disponível em < http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por>. Acessado em 25 Out 2013.

INTERNATIONAL GREEN PURCHASING NETWORK. **Green Purchasing**: The New Growth Frontier. Tokyo: 2010.

IRALDO, F.; TESTA, F.; FREY, M. Is an environmental management system able to in fl uence environmental and competitive performance? The case of the eco-management and audit scheme (EMAS) in Europe. **Journal of Cleaner Production.** 17. 2009. 1444–1452 5.

IRITANI, D. R. et al. Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 308–318, jun. 2015.

IUCN; UNEP; WWF. **World Conservation Strategy**: Living Resource Conservation for Sustainable Development. 1980.

REVELLE, J.; MORAN, J.; COX, C. The QFD Handbook (New York: John Wiley & Sons, 1998), 57. 4. ReVelle, Moran, and Cox, **The QFD Handbook**, 56. 5.

JARRAR, Y. F.; ZAIRI, M. Internal transfer of best practice for performance excellence: a global survey. **Benchmarking: an international journal**, 2000. Wagon Lane, v. 7, n. 4, p. 239 – 246.

JENSEN A. A. **The business case of life cycle management** – how to create a sustainable value chain. 2012 Shanghai Second Polytechnic University, Shanghai

JENSEN C. et al. **Environmental Effect Analysis** (EEA) — Principles and structure, HRM/Ritline AB, SE-417 64 Gothenburg VI, Association of Swedish Engineering Industries, Box 5510, SE-114 85 Stockholm and Department of Technology, Kalmar Institute of Technology, SE-391 82 Kalmar, 2000

JENSEN, A.A. **Life cycle management** – a bridge to sustainable products. In: 1st international conference of life cycle management (LCM). dk-TEKNIK ENERGY & ENVIRONMENT, Copenhagen/Soeborg, 27–28 Aug 2001

JENSEN, C. et al., T. Env**ironmental effect analysis** (EEA): Principles and structure. 2001. Kalmar, Sweden: University of Kalmar - Department of Technology

JESPERSEN, C.; CHRISTIANSEN, K.; HUMMELMOSE, B. **Cleaner Production Assessment in Fish Processing**. COWI Consulting Engineers and Planners AS, Denmark, 2000.

JUNG, J.; POSTELS, S.; BARDOW, A. Cleaner chlorine production using oxygen depolarized cathodes? A life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 80, p. 46–56, out. 2014.

KARLSSON, C. **Researching Operations Management**. 1ª Ed. New York: Routledge, 2009.

KATZ, S.; LINDNER, A. S. A life-cycle comparison of several auxiliary blowing agents used for the manufacture of rigid polyurethane foam. **Journal of the Air & Waste Management Association** (1995), v. 53, n. April, p. 469–477, 2003.

KAZMIERCZYK, P. **Manual on the development of cleaner production policies approaches and instruments**. Vienna: Unido CP Programme, 2002.

KAZMIERCZYK, P.; OSUNA, M. R. S.; SCHWAGER-QUIJANO, P. **Manual on the Development of Cleaner Production Policies** - Approaches and Instruments. Vienna: 2002.

KHALILI, N. R. et al. From cleaner production to sustainable development: the role of academia. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 30–43, 2014.

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

KHAN, F. I.; NATRAJAN, B. .; REVATHI, P. GreenPro: a new methodology for cleaner and greener process design. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries,** v. 14, n. 4, p. 307–328, jul. 2001.

KHAN, F. I.; SADIQ, R.; HUSAIN, T. GreenPro-I: a risk-based life cycle assessment and decision-making methodology for process plant design. **Environmental Modelling & Software**, v. 17, n. 8, p. 669–692, dez. 2002.

KHAN, F. I.; SADIQ, R.; VEITCH, B. Life cycle iNdeX (LInX): a new indexing procedure for process and product design and decision-making. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 1, p. 59–76, fev. 2004.

KHOSHNEVISAN, B. et al. Decreasing environmental impacts of cropping systems using life cycle assessment (LCA) and multi-objective genetic algorithm. **Journal of Cleaner Production**, v. 86, p. 67–77, jan. 2015.

KIKUCHI, E.; KIKUCHI, Y.; HIRAO, M. Analysis of risk trade-off relationships between organic solvents and aqueous agents: case study of metal cleaning processes**. Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 5, p. 414–423, mar. 2011.

KPMG. **Sustainable Insight** - Articulating the value of sustainability to mainstream investors. 2011.

LAGERSTEDT, J. **Functional and enviromental factors in early phases of product development** - Eco Functional Matrix. Kungliga Tekniska högskolan. [S.l.]. 2003.

LAGREGA, M. D., BUCKINGHAM, P. L., EVANS, J. C. **The Environment resource Management Group**: hazardous waste management, 1st ed. Singapore. McGraw-Hill, 1994, 1146p

LAPERRIÈRE, L.; REINHART, G.; ENGINEERING, T. I. A. FOR P. **CIRP Encyclopedia of Production Engineering.** Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014. v. 53

LEHTINEN, H. et al. A **review of LCA methods and tools and their suitability for SMEs**, 2011.

LI, W. et al. A life cycle assessment case study of ground rubber production from scrap tires. The **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, n. 11, p. 1833–1842, 2014.

LIM, S.-R.; PARK, J. M. Environmental impact minimization of a total wastewater treatment network system from a life cycle perspective. **Journal of environmental managemen**t, v. 90, n. 3, p. 1454–62, mar. 2009.

LINDAHL, M. Environmental effect analysis - how does the method stand in relation to lessons learned from the use of other design for environment methods. **Proceedings Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing,** p. 864–869, 2001.

LINDAHL, M.; JENSEN, C.; TINGSTRÖM, J. A Comparison between the Environmental Effect Analysis (EEA) and the Life Cycle Assessment (LCA) methods – Based on Four Case Studies.P**roceedings of the 7th International Seminar on Life Cycle Engineering CIRP. Anais.**..2000

LINNANEN, L. Life cycle management: integrated approach towards corporate environmental issues. **Business Strategy Environment**. 1995. 4(3):117–127.

LIU, X.; YUAN, Z. Life cycle environmental performance of by-product coke production in China. **Journal of Cleaner Production**, jan. 2015.

LÖFGREN, B; TILLMAN, A.-M. Relating manufacturing system configuration to life-cycle environmental performance: discrete-event simulation supplemented with LCA, 2011. **Journal of Cleaner Production** 19, pp. 2015-2024.

LÖFGREN, B; TILLMAN, A.-M.; RINDE, B. Manufacturing actor's LCA. **Journal of Cleaner Production**, Volume 19, Issues 17-18, pp 2025-2033, 2011.

MARX. A. M. **Proposta de método de gestão de requisitos para o desenvolvimento de produtos sustentáveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MAZIJN B, REVÉRET J-P. Life cycle sustainability assessment: a tool for exercising due diligence in life cycle management. In: Sonnemann G, Margni M, editors**. Life cycle management**. Springer Open; 2015. p. 51–64.

MENDOZA, J.-M. F. et al. Environmental management of granite slab production from an industrial ecology standpoint. **Journal of Cleaner Production**, v. 84, n. 1, p. 619–628, dez. 2014.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**, v. 17, n. 1, p. 216–229, 2007.

NICHOLAS, M. J. et al. Determination of best available techniques for integrated pollution prevention and control: a life cycle approach. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 78, n. B3, p. 193–203, 2000.

O'HARE, J. et al. **Eco-Innovation Manual** - Working version for Pilot Application, 2014. Disponível em: www.unep.org/dtie

OECD. **Eco-innovation in Industry**: Enabling Green Growth. OECD Publishing, 2010.

OECD. **Environmental policy tools and evaluation** – Extended Producer Responsibility. OECD. Disponível em: < http://www.oecd.org/env/tools-evaluation/extendedproducer responsibility.htm>. Acesso em: 25 nov. 2013.

OVERCASH, M. R. **Technology Life Cycle Methods** : European Research and Development. v. 11, n. 4, 1994.

PENNINGTON, D. W. et al. Evaluating Pollution Prevention Progress (P2P). **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 5, n. 2, p. 70–86, 2003.

PIGOSSO, D. C. A. Ecodesign Maturity Model: a framework to support companies in the selection and implementation of ecodesign practices. **Universidade de São Paulo**, 2012.

PIGOSSO, D. C. A. Integração de métodos e ferramentas de ecodesign ao processo de desenvolvimento de produtos. São Carlos, SP. **Originalmente apresentada como monografia de conclusão de curso em Engenharia Ambiental**, EESC, 2008.

PIGOSSO, D. C. A.; GUELERE FILHO, A.; ROZENFELD, H. Melhoria do Desempenho Ambiental de Produtos através da Integração de Métodos do Ecodesign ao Processo de Desenvolvimento Produtos. **In 1st International Workshop Advances in Cleaner Production**, 2007.

PIKETTY, T. **O Capital no século XXI.** 1ª Edição. Rio de Janeiro: Intríseca, 2014. cap. 2, p. 77-111

PINEDA-HENSON, R.; CULABA, A. B. A diagnostic model for Green Productivity assessment of manufacturing processes. **International Journal of Life Cycle Assessment**. Anais...2004Disponível em: http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-7444272847&partnerID=tZOtx3y1

REBITZER, G. Introduction: Life Cycle Management. In: SONNEMANN, G.; MARGNI, M. (Eds.). . **Life Cycle Management**. [s.l.] Springer Netherlands, 2015. p. 3–6.

REMMEN, A.; JENSEN A. A.; FRYDENDAL, J. **Life cycle management: A business guide to sustainability**. 2007. UNEP DTIE.

REMMEN, A.; MÜNSTER, M. **An introduction to Life-Cycle Thinking and Management.** Danish EPA, Copenhagen. 2003.

RIVES, J. et al. Environmental analysis of the production of natural cork stoppers in southern Europe (Catalonia – Spain). **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 2-3, p. 259–271, jan. 2011.

RODRÍGUEZ, M. T. T. et al. Combining LCT tools for the optimization of an industrial process: material and energy flow analysis and best available techniques. **Journal of hazardous materials**, v. 192, n. 3, p. 1705–19, 15 set. 2011.

SCHALTEGGER, S. et al. Environmental Management Accounting for Cleaner Production. In: **ECO-EFFICIENCY IN INDUSTRY AND SCIENCE**. Dordrecht: Springer, 2008. p. 91–102.

SENAI - RS. **Cinco fases da implantação de técnicas de produção mais limpa**. Porto Alegre, UNIDO/UNEP, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI, 2003. 103p. il. (Série Manuais de Produção mais Limpa).

SEVERO, E. A. et al. Cleaner production, environmental sustainability and organizational performance: an empirical study in the Brazilian Metal-Mechanic industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 118–125, 2014.

SILVA, D. A. L. et al. Quality tools applied to Cleaner Production programs: A first approach toward a new methodology. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 174–187, 2013.

SILVA, D. A. L. et al. Life cycle assessment of offset paper production in Brazil: hotspots and cleaner production alternatives. **Journal of Cleaner Production**, v. 93, p. 222–233, abr. 2015.

SONNEMANN, G. et al. Life Cycle Management: Implementing Sustainability in Business Practice. In: SONNEMANN, G.; MARGNI, M. (Eds.). . **Life Cycle Management**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2015. p. 7–22.

SONNEMANN, G.; MARGNI, M. **Life Cycle Management.** Dordrecht: Springer Netherlands, 2015.

STANIKIS, J. et al. Sustainable consumption and production as a system: Experience in Lithuania. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 14, n. 6, p. 1095–1105, 2012.

STANIŠKIS, J. K. et al. **Sustainable innovations in Lithuanian industry**: development and implementation. Technologija, Kaunas. 2010.

STANIŠKIS, J. K. Sustainable consumption and production: How to make it possible. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 14, n. 6, p. 1015–1022, 2012.

STANISKIS, J. K. Water Saving In Industry By Cleaner Production. **Water Purification and Management**, p. Univ Oviedo; City Hall Oviedo; Ficyt; CajaAstur, 2011.

STANIŠKIS, J. K.; ARBAČIAUSKAS, V. Cleaner Production in Industry: Capacity Building and Implementation. In: COCA-PRADOS, J.; GUTIÉRREZ-CERVELLÓ, G. (Eds.). . **Economic Sustainability and Environmental Protection in Mediterranean Countries through Clean Manufacturing Methods**. Dordrecht: Springer, 2013. v. 119p. 1–18.

STONE, K. R. Accounting for engineering trade-offs in corporate and public decision-making. **Environmental Progress**, v. 19(2), p. 124–129, 2000.

STRAZZA, C. et al. Resource productivity enhancement as means for promoting cleaner production: Analysis of co-incineration in cement plants through a life cycle approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 14, p. 1615–1621, 2011.

SWARR, T. E. et al. Building Organizational Capability for Life Cycle Management. In: SONNEMANN, G.; MARGNI, M. (Eds.). . **Life Cycle Management.** [s.l.] Springer Netherlands, 2015. p. 239–256.

THORSTEINSDOTTIR, H. **Raising The Bar** – Advancing Environmental Disclosure In Sustainability Reporting. 2015.

THURSTON, D. L.; SRINIVASAN, S. Constrained Optimization for Green Engineering Decision-Making. **Environmental Science & Technology**, v. 37, n. 23, p. 5389–5397, dez. 2003.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção. **Universidade Federal de Itajubá** - UNIFEI, p. 191, 2012.

UMEDA, Y. et al. Toward integrated product and process life cycle planning—An environmental perspective. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 61, n. 2, p. 681–702, jan. 2012.

UNEP FINANCE INITIATIVE; WBCSD. **Translating ESG into sustainable business value.** UNEP Finance Initiative and World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). 2010;

UNEP. **Cleaner production**: A training resource package. 1996

UNEP. **Green Economy and Trade** – Trends, Challenges and Opportunities. Available at: http://www.unep.org/greeneconomy/GreenEconomyandTrade. 2013.

UNEP. **Why Take A Life Cycle Approach?** Nairobi, Kenya: United Nations Publications 2004.

UNEP/SETAC **LCM training material**. Acessado em Janeiro, 2015. Disponível em: http://www.lifecycleinitia- tive.org/resources/training/

UNEP/SETAC. **Life cycle management**: how business uses it to decrease footprint, create opportunities and make value chains more sustainable. 2009.UNEP, Paris

UNEP/UNIDO. **Guidance Manual**: How to Establish and Operate Cleaner Production Centres. 2004. UNIDO, Vienna.

US EPA. **Facility Pollution Prevention Guide**, 1992.

US EPA. **Federal Facility Pollution Prevention Project Analysis**: A Primer for Applying Life Cycle and Total Cost Assessment. [s.l: s.n.].

US EPA. **Life cycle engineering guidelines**. U.S. Environmental Protection Agency; 2001.

US EPA. **Pollution Prevention (P2) Framework**. 2005. Disponivel em http://www.epa.gov/oppt/p2framework/. Acessado Nov.13

US EPA. United States Environmental Protection Agency. **Federal Facility Pollution Prevention Planning Guide**. Office of Enforcement and Compliance Assurance. Washington, DC 20460. EPA 300-B-94-012. Nov. 1994.

VAN BERKEL, R. Evaluation of the global implementation of the UNIDO-UNEP National Cleaner Production Centres (NCPC) Programme. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 13, n. 1, p. 161–175, 2011.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195–219, 2002.

WANG, J.; WANG, L. Total Environmental Evaluation of Cleaner Production Technology in Iron and Steel Industry. **Energy, Environmental and Structural Engineering Series**, p. 35–43, 2013.

WENZEL, H.; HAUSCHILD, M.; ALTING, L. **Environmental Assessment Of Products**, CHAPMAN & HALL, LONDON. 1997.

WESTKÄMPER, E; ALTING, L; ARNDT, G. Life cycle management and assessment: approaches and visions towards sustainable manufacturing. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-**journal of Engineering Manufacture**, 2000. Vol 215, no. 5, pp. 599-626.

WESTON, N. et al. Assessment of cleaner process options: A case study from petroleum refining. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 86, n. 3, p. 302–315, jun. 2008.

WOLDT, W. E.; DVORAK, B. I.; DAHAB, M. F. Application of fuzzy set theory to industrial pollution prevention: Production system modeling and life cycle assessment. **Soft Computing**, v. 7, n. 6, p. 419–433, 2003.

YARWOOD, J. M.; EAGAN, P. D. **Design for the Environment Toolkit**: A Competitive Edge for the Future, Minnesota, USA. (Available online from http://www.moea.state.mn.us/berc/ dfetoolkit.cfm). 1998.

YILMAZ, O.; ANCTIL, A.; KARANFIL, T. LCA as a decision support tool for evaluation of best available techniques (BATs) for cleaner production of iron casting**. Journal of Cleaner Production**, v. 105, p. 337–347, out. 2015.

YIN, R. K**. Estudo de Caso**: planejamento e métodos. Porto Alegre - RS: Bookman, 2001.

YUAN, Z. W. et al. Life-cycle assessment of continuous pad-dyeing technology for cotton fabrics. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, p. 659–672, 2013.

ZERO WASTE NETWORK. **Success stories**. Disponível em: < http://www.zerowastenetwork.org/success/index.cfm> . Acessado em: Fevereiro, 2015.

ZHANG, Y. et al. LCA as a decision support tool for evaluating cleaner production schemes in iron making industry. E**nvironmental Progress & Sustainable Energy,** p. n/a–n/a, 9 set. 2015.

ZHOU, X.; SCHOENUNG, J. M. Combining U.S.-based prioritization tools to improve screening level accountability for environmental impact: the case of the chemical manufacturing industry. **Journal of hazardous materials**, v. 172, n. 1, p. 423–31, 15 dez. 2009.

APÊNDICE I – Protocolo da RBS: P+L e EGCV

A. Formulação da Questão

O primeiro passo na realização de uma RBS é a definição do objetivo da pesquisa, que inclui a definição do problema a ser atacado, a formulação da questão a ser respondida pela pesquisa e as palavras-chave a serem utilizadas, com base na questão proposta.

A.1. Objetivo

O objetivo desta RBS é identificar se existem e quais são os estudos que, assim como o presente trabalho, buscaram integrar a visão de ciclo de vida, na forma de práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida, à Produção mais Limpa ou formas análogas de melhorias ambientais preventivas, como foco nas melhorias em processos.

A partir destes trabalhos, foram identificadas quais práticas da EGCV vem sendo adotadas, e como elas têm sido integradas à P+L e suas etapas. A identificação destes estudos possibilitou o entendimento do estado da arte dos trabalhos neste tema e servirá como base à proposta de Integração apresentada no capítulo 5.

A.2. Identificação dos problemas

A identificação dos problemas a serem abordados fornece um contexto para a revisão.

Conforme apresentado nos capítulos anteriores, sabe-se que a Produção mais Limpa, ainda que muitas vezes seja enquadrada como uma estratégia da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida, não se baseia, na prática, na visão de ciclo de vida. Conforme mostrou a revisão dos Guias de P+L, não são fornecidas diretrizes ou ferramentas para que os usuários possam considerar o ciclo de vida na caracterização, levantamento de oportunidades ou análise de viabilidade. A maioria dos Casos de P+L também não mostram uma preocupação com a adoção da visão de ciclo de vida.

A visão de ciclo de vida no contexto da P+L está mais associada às melhorias em produtos e as oportunidades de melhorias em processos são identificadas e analisadas sem se adotar uma perspectiva de ciclo de vida, o que pode ocasionar a transferência da responsabilidade ambiental para outras etapas do ciclo e até mesmo impactos ambientais mais significativos, como pôde ser visto na revisão dos Casos de P+L.

A integração de práticas de EGCV nas etapas e atividades da P+L pode proporcionar uma visão mais holística de todo o ciclo de vida dos produtos, tornando-a mais eficiente.

A.3. Questões de pesquisa:

As questões que esta RBS visa responder são:

- Existem estudos que abordem a utilização de práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida para auxiliar implantação da Produção mais Limpa (ou formas análogas de melhorias preventivas em processos)?
- Quais são as práticas da EGCV que vem sendo adotadas juntamente com a P+L?
- De que forma e em quais etapas as práticas de EGCV vêm sendo aplicadas na P+L?

A.4. Palavras-chave:

As palavras-chaves foram escolhidas com base nos conhecimentos prévios sobre ambos os temas, apresentados no tópico "Referencial Teórico". As palavras-chave são apresentadas em inglês, pois é assim que foram utilizadas na pesquisa uma vez que as bases de dados pesquisadas são internacionais.

- P+L:
    - *Cleaner production;*
    - *Clean production;*
    - *Pollution Prevention.*
- Práticas da EGCV:
    - *Life cycle.*

Devido ao grande número de práticas da EGCV disponíveis, buscou-se adotar uma palavra-chave bastante abrangente que englobasse todas as possíveis práticas. Além disso, testes de busca realizados nas bases escolhidas mostraram que uma busca mais restritiva, usando termos mais específicos (como, por exemplo, "*Life Cycle Engineering*" ou "*Life Cycle Tools*") retornaria um número muito pequeno de resultados, reforçando a necessidade de se adotar um termo mais abrangente.

B. Seleção das bases de dados:

Nessa sessão são descritos os critérios para a seleção das bases de dados a ser utilizada para a RBS.

B.1. Critérios para a seleção das bases

Os critérios adotados para a seleção das bases foram:

- Disponibilidade de acesso: foram adotadas apenas bases de dados assinadas pela USP e disponíveis sem a necessidade de pagamento adicional;
- Possibilidade de busca por operadores lógicos;

B.2. Bases selecionadas:

As bases selecionadas para a RBS foram:

- Web of Knowledge;
- SCOPUS;
- Engineering Village;
- Proquest.

Os documentos pesquisados nas bases incluem artigos, livros, capítulos de livros e trabalhos de reuniões científicas (congressos, simpósios, etc.).

C. Seleção dos estudos

Neste item são descritos os processos e critérios para a seleção e avaliação dos estudos.

C.1. Critérios para a seleção de estudos

Os critérios para a seleção de estudos irão determinar quais estudos foram mantidos na RBS após as buscas nas bases de dados. É importante adotar estes critérios para reduzir a amostra final que será de fato analisada, pois muitos dos estudos que retornarão das buscas não serão pertinentes a esta pesquisa. Nesta etapa serão adotados os seguintes critérios:

[FILTRO I] Pertinência: com base na leitura dos títulos e dos resumos, foram excluídos os estudos que não abordassem melhorias preventivas em processos produtivos juntamente com a visão de ciclo de vida.

[FILTRO II] Disponibilidade, duplicidade e idioma: neste filtro, foram excluídos trabalhos que não estivessem disponíveis para acesso integral de seu texto, que não estivessem na língua inglesa e que fossem repetidos, uma vez que as bases de dados se sobrepõe.

[FILTRO III] Conteúdo: com base na leitura integral dos trabalhos, foram excluídos aqueles que não contribuíssem para responder às questões de pesquisa da RBS. Para isso, foram mantidos

apenas os trabalhos que abordassem os dois temas (melhorias preventivas em processos e visão de ciclo de vida) de forma integrada e que abordassem o uso de práticas de Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida.

C.2. Critérios para a análise dos estudos

Após a aplicação dos filtros de seleção (I a III), a amostra de trabalhos resultantes foi analisada quanto a seu conteúdo, mediante leitura integral dos trabalhos, aplicando-se os seguintes critérios de análise:

- Método de P+L adotado: buscou-se identificar se ferramentas, métodos, procedimentos e técnicas de Produção mais Limpa formais foram adotados para melhorias preventivas em processo;
- Prática da EGCV: foram identificadas as práticas da EGCV adotadas em cada um dos trabalhos;
- Integração: foram analisadas as formas de integração das práticas da EGCV nas melhorias preventivas em processo.

D. Método de busca

O primeiro passo será a realização das buscas nas bases de dados selecionadas. Para isso, serão criados *strings* de busca a partir das palavras-chave selecionadas. Os *strings* servem para agrupar as palavras-chave para se pesquisar os dois tópicos simultaneamente e serão adequadas de acordo com os operadores lógicos utilizados em casa base de dados, seguindo o modelo:

[PALAVRAS-CHAVE DE P+L] E [PALAVRA-CHAVE DE EGCV]

[(*Cleaner Production*) OU (*Clean Production*) OU (*Pollution Prevention*)] E [(*Life Cycle*)]

Os *strings* utilizados em cada uma das bases de dados encontram-se no Apêndice II. Para as buscas nas bases de dados, optou-se por utilizar os campos de título e resumo.

APÊNDICE II - Registro dos strings pesquisados na RBS

Abaixo se encontram os *string*s buscados em cada base de dados de acordo com o mecanismo de busca específico de cada base.

- **Web of Knowledge**

TS=((("clean* production" OR "pollution prevention") AND ("life cycle")))

- **Scopus**

(TITLE-ABS-KEY ({clean production} OR {cleaner production} OR {pollution prevention}) AND TITLE-ABS-KEY ({life cycle}))

- **Engineering Village**

(({cleaner production} OR {clean production} OR {pollution prevention}) wn TI) AND ({life cycle} wn TI)

- **Proquest**

((ab("cleaner production" OR "clean production" OR "pollution prevention")) OR (ti("cleaner production" OR "clean production" OR "pollution prevention"))) AND ((ab("life cycle")) OR (ti("life cycle")))

APÊNDICE III – Questionário do Estudo de Caso

Estudo de Caso

Questionário

1. A empresa possui certificações ambientais?

2. Como é sistema de gestão ambiental da empresa?
    a. A empresa possui uma Política Ambiental?
    b. A empresa possui objetivos e metas ambientais?
    c. A empresa possui indicadores de desempenho ambiental? Quais?
    d. Há separação de gestão por processos e por produtos?
    e. Quais são os departamentos envolvidos?

3. A empresa possui um processo formal de gestão das melhorias ambientais em processos produtivos?

4. Se sim, quais as etapas e atividades relacionadas à gestão ambiental do processo produtivo?
    a. Como são identificadas as oportunidades de melhorias?
    b. São empregadas ferramentas, métodos, procedimentos e técnicas para se promover melhorias nos processos produtivos? Quais?

5. Existem indicadores ambientais para os processos produtivos? Quais?

6. Existem metas ambientais exclusivas para os processos produtivos?

7. Como a visão de ciclo de vida é colocada em prática pela empresa?
    a. Quais ferramentas, métodos, procedimentos e técnicas de engenharia e gestão do ciclo de vida são empregadas?

8. Qual o escopo de abrangência (do berço ao berço, berço ao portão da fábrica, berço ao túmulo etc.)?

9. A empresa utiliza as informações acerca dos impactos ao longo do ciclo de vida de seus produtos para promover melhorias ambientais em seu processo produtivo?

10. Quais as principais decisões do processo produtivo que os resultados dos estudos de ciclo de vida subsidiam?
    a. Como é o processo interno destas decisões que levam em consideração estes estudos de ciclo de vida?
    b. Isso fica no âmbito técnico-operacional do processo produtivo ou é utilizado nas definições de políticas, estratégias etc.?

11. Há diferença nos processos de decisões para produto e processo produtivo que consideram o ciclo de vida? Como os resultados dos estudos de ciclo de vida são realizados e utilizados para cada um deles?

12. Há monitoramento dos aspectos e impactos do ciclo de vida do produto? Se sim, como isso retroalimenta a gestão ambiental do processo produtivo? Quais as atividades realizadas e quais são os indicadores?

APÊNDICE IV – Lista completa dos trabalhos que compõe a amostra final da RBS de Produção mais Limpa e Ciclo de Vida.

ID	Referência	ANO	TÍTULO	REVISTA
1	(FAVA; PAGE, 1992)	1992	*Application of Product Life-Cycle Assessment to Product Stewardship and Pollution Prevention Programs*	
2	(ALLEN; ROSSELOT, 1994)	1994	*Pollution prevention at the macro scale. Flows of wastes, industrial ecology and life cycle analyses*	Waste Management
3	(OVERCASH, 1994)	1994	*Technology Life Cycle Methods : European Research and Development*	
4	(CLIFT, 1995)	1995	*Clean Technology - An introduction*	Journal of Chemical Technology and Biotechnology
5	(CUNAN, 1995)	1995	*Using LCA-Based Approaches to Evaluate Pollution Prevent ion*	
6	(GRAEDEL, 1996)	1996	*Life-Cycle Assessment of Electronics Manufacturing Processes*	International Textile Bulletin: Yarn and Fabric Forming
7	(STONE, 2000)	2000	*Determination of 'best available techniques' for integrated pollution prevention and control: A life cycle approach*	Process Safety and Environmental Protection
8	(NICHOLAS et al., 2000)	2000	*Fuzzy outranking for environmental assessment. Case study: iron and steel making industry*	Fuzzy Sets and Systems
9	(CURRAN; SCHENCK, 2001)	2001	*GreenPro: a new methodology for cleaner and greener process design*	Journal of Loss Prevention in the Process Industries
10	(KHAN; NATRAJAN; REVATHI, 2001)	2001	*Pollution Prevention and Life Cycle Assessment*	Handbook of Pollution Control and Waste Minimization
11	(KHAN; SADIQ; HUSAIN, 2002)	2002	*GreenPro-I: a risk-based life cycle assessment and decision-making methodology for process plant design*	Environmental Modelling & Software
12	(BARBIROLI; RAGGI, 2003)	2003	*A method for evaluating the overall technical and economic performance of environmental innovations in production cycles*	Journal of Cleaner Production

13	(KATZ; LINDNER, 2003)	2003	*A Life-Cycle Comparison of Several Auxiliary Blowing Agents Used for the Manufacture of Rigid Polyurethane Foam*	ournal of the Air & Waste Management Association
14	(PENNINGTON et al., 2003)	2003	*Evaluating Pollution Prevention Progress (P2P)*	Clean Technologies and Environmental Policy
15	(THURSTON; SRINIVASAN, 2003)	2003	*Constrained Optimization for Green Engineering Decision-Making*	Environmental Science & Technology
16	(WOLDT; DVORAK; DAHAB, 2003)	2003	*Application of fuzzy set theory to industrial pollution prevention: production system modeling and life cycle assessment*	Soft Computing
17	(BATES et al., 2004)	2004	*Development and weighting of a life cycle assessment screening model*	Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering
18	(KHAN; SADIQ; VEITCH, 2004)	2004	*Life cycle iNdeX (LInX): a new indexing procedure for process and product design and decision-making*	Journal of Cleaner Production
19	(PINEDA-HENSON; CULABA, 2004)	2004	*A Diagnostic Model for Green Productivity Assessment of Manufacturing Processes*	The International Journal of Life Cycle Assessment
20	(GELDERMANN; RENTZ, 2005)	2005	*Multi-criteria Analysis for Technique Assessment Case Study from Industrial Coating*	Journal of Industrial Ecology
21	(CHINH; GHEEWALA; BONNET, 2007)	2007	*Integrated environmental assessment and pollution prevention in Vietnam: the case of anthracite production*	Journal of Cleaner Production
22	(DOMINGUEZ-RAMOS; ALDACO; IRABIEN, 2007)	2007	*Life cycle assessment as a tool for cleaner production: Application to aluminium trifluoride*	International Journal of Chemical Reactor Engineering
23	(HUSSEY; EAGAN, 2007)	2007	*Using structural equation modeling to test environmental performance in small and medium-sized manufacturers: can SEM help SMEs?*	Journal of Cleaner Production
24	(HOSSAIN; KHAN; HAWBOLDT, 2008)	2008	*Sustainable development of process facilities: State-of-the-art review of pollution prevention frameworks*	Journal of hazardous materials

25	(WESTON et al., 2008)	2008	*Assessment of cleaner process options: A case study from petroleum refining*	The Canadian Journal of Chemical Engineering
26	(GAO et al., 2009)	2009	*Life cycle assessment of primary magnesium production using the Pidgeon process in China*	The International Journal of Life Cycle Assessment
27	(GOLDIN et al., 2009)	2009	*Solar Powered Charge Stations for Electric Vehicles*	Environmental Progress
28	(LIM; PARK, 2009)	2009	*Environmental impact minimization of a total wastewater treatment network system from a life cycle perspective.*	Journal of environmental management
29	(ZHOU; SCHOENUNG, 2009)	2009	*Combining U.S.-based prioritization tools to improve screening level accountability for environmental impact: the case of the chemical manufacturing industry.*	Journal of hazardous materials
30	(KIKUCHI; KIKUCHI; HIRAO, 2011)	2011	*Analysis of risk trade-off relationships between organic solvents and aqueous agents: case study of metal cleaning processes*	Journal of Cleaner Production
31	(RIVES et al., 2011)	2011	*Environmental analysis of the production of natural cork stoppers in southern Europe (Catalonia – Spain)*	Journal of Cleaner Production
32	(RODRÍGUEZ et al., 2011)	2011	*Combining LCT tools for the optimization of an industrial process: material and energy flow analysis and best available techniques.*	Journal of hazardous materials
33	(STRAZZA et al., 2011)	2011	*Resource productivity enhancement as means for promoting cleaner production: Analysis of co-incineration in cement plants through a life cycle approach*	Journal of Cleaner Production
34	(BONVOISIN et al., 2013)	2013	*An implemented framework to estimate manufacturing-related energy consumption in product design*	International Journal of Computer Integrated Manufacturing
35	(BOURHIS et al., 2013)	2013	*Sustainable manufacturing: evaluation and modeling of environmental impacts in additive manufacturing*	The International Journal of Advanced Manufacturing Technology
36	(BURCHART-KOROL, 2013)	2013	*Life cycle assessment of steel production in Poland: a case study*	Journal of Cleaner Production
37	(DVARIONIENE; KRUOPIENE;	2013	*Application of the Life-Cycle Assessment Method for Pollution Prevention in Klaipeda Sea Port, Lithuania*	Journal of Coastal Research

	STANKEVICIENE, 2012)			
38	(KHALILI; EHRLICH; EDDINE, 2013)	2013	*A qualitative multi-criteria, multi stakeholder decision making tool for sustainable waste management*	Progress in Industrial Ecology, An International Journal
39	(WANG; WANG, 2013)	2013	*Total Environmental Evaluation of Cleaner Production Technology in Iron and Steel Industry*	Energy, Environmental and Structural Engineering Series
40	(YUAN et al., 2013)	2013	*Life-cycle assessment of continuous pad-dyeing technology for cotton fabrics*	International Journal of Life Cycle Assessment
41	(AN; XUE, 2014)	2014	*Life cycle environmental impact assessment of borax and boric acid production in China*	Journal of Cleaner Production
42	(CESPI et al., 2014)	2014	*Life Cycle Assessment comparison of two ways for acrylonitrile production: the SOHIO process and an alternative route using propane*	Journal of Cleaner Production
43	(JUNG; POSTELS; BARDOW, 2014)	2014	*Cleaner chlorine production using oxygen depolarized cathodes? A life cycle assessment*	Journal of Cleaner Production
44	(LI et al., 2014)	2014	*A life cycle assessment case study of ground rubber production from scrap tires*	The International Journal of Life Cycle Assessment
45	(MENDOZA et al., 2014)	2014	*Environmental management of granite slab production from an industrial ecology standpoint*	Journal of Cleaner Production
46	(IRITANI et al., 2015)	2015	*Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry*	Journal of Cleaner Production
47	(KHOSHNEVISAN et al., 2015)	2015	*Decreasing environmental impacts of cropping systems using life cycle assessment (LCA) and multi-objective genetic algorithm*	Journal of Cleaner Production
48	(LIU; YUAN, 2015)	2015	*Life cycle environmental performance of by-product coke production in China*	Journal of Cleaner Production
49	(SILVA et al., 2015)	2015	*Life cycle assessment of offset paper production in Brazil: hotspots and cleaner production alternatives*	Journal of Cleaner Production

50	(YILMAZ; ANCTIL; KARANFIL, 2015)	2015	*LCA as a decision support tool for evaluation of best available techniques (BATs) for cleaner production of iron casting*	Journal of Cleaner Production
51	(ZHANG et al., 2015)	2015	*LCA as a decision support tool for evaluating cleaner production schemes in iron making industry*	Environmental Progress & Sustainable Energy

APÊNDICE V – Quadro de entradas e saídas das atividades de Produção mais Limpa.

	Atividades	Dados de entrada		Dados de saída	
		Descrição	Natureza	Descrição	Natureza
Planejamento e Organização	Obetenção do compromisso da gerência	Materiais de treinamento P+L	Qualitativo	Comprometimento da gerência	Qualitativo
		Informações ambientais da empresa (metas, interesses dos stakeholders, exigências legais, etc)	Qualitativo	-	-
	Estabelecimento de uma equipe para o projeto	Comprometimento da gerência	Qualitativo	Equipe multifuncional	Qualitativo
		Organograma da empresa	Qualitativo	-	-
	Desenvolvimento de políticas, objetivos e metas	Informações ambientais da empresa (metas, interesses dos stakeholders, exigências legais, etc)	Qualitativo	Políticas, objetivos e metas ambientais da empresa	Qualitativo
	Planejamento	Planejamento geral da empresa	Qualitativo	Cronograma geral da P+L (sem atividades detalhadas)	-
		Comprometimento da gerência	Qualitativo	-	-
Pré-avaliação	Descrição da empresa e fluxograma	Produtos produzidos	Qualitativo	Fluxograma	Quali/Quantitativo
		Histórico da empresa	Qualitativo	-	-
		Organização da empresa	Qualitativo	-	-
		Listagem dos principais processos	Qualitativo	-	-
		Listagem dos inputs e outputs mais importantes	Quali/Quantitativo	-	-
	Inspeção *in loco*	-	-	Dados para descrição da empresa e fluxograma	Qualitativo
		-	-	Perdas e vazamentos	Qualitativo

	Atividades	Dados de entrada		Dados de saída	
		Descrição	Natureza	Descrição	Natureza
Pré-avaliação	Estabelecimento de um foco	Dados da empresa	Quali/Quantitativo	Processos com maior geração de resíduos	Quali/Quantitativo
		Fluxograma	Quali/Quantitativo	Processos com maior consumo de materiais/energia	Quali/Quantitativo
		-	-	Processos com elevado custo ambiental	Quali/Quantitativo
		-	-	Processos potencial para grande benefício com a P+L	Quali/Quantitativo
Avaliação	Coleta de dados quantitativos	Quantidades de produtos produzidas	Quantitativo	Consumo de recursos por quantidade produzida	Quantitativo
		Quantidades de insumos/matéria-prima consumidos	Quantitativo	Geração de resíduos por quatidade produzida	Quantitativo
		Quantidades de água e energia consumidas	Quantitativo	-	-
		Quantidades de resíduos gerados	Quantitativo	-	-
		Perdas e vazamentos de recursos	Quantitativo	-	-
	Balanço de massa e energia	Consumo de recursos por quantidade produzida	Quantitativo	Balanço de massa e energia	Quali/Quantitativo
		Geração de resíduos por quatidade produzida	Quantitativo	-	-
	Identificação de oportunidades de P+L	Conhecimento prévio e criatividade da equipe	Qualitativo	Lista geral de oportunidades de P+L	Qualitativo
		Informações externas de especialistas, guias, fornecerdores, clientes, organizações, universidades, etc.	Qualitativo	-	-
		Balanço de massa e energia	Quali/Quantitativo	-	-
		Processos potencial para grande benefício com a P+L	Quali/Quantitativo	-	-

	Atividades	Dados de entrada		Dados de saída	
		Descrição	Natureza	Descrição	Natureza
Avaliação	Listagegem e classificação das oportunidades	Lista geral de oportunidades de P+L	Qualitativo	Lista de oportunidades organizadas por unidade de processo, área, categorias de impactos ou critério relevante	Qualitativo
		Estimativa de custos e benefícios de implantação por oportunidade	Qualitativo	-	-
Estudo de viabilidade	Avaliação preliminar	Lista de oportunidades organizadas	Qualitativo	Lista preliminar de oportunidades viáveis	Qualitativo
	Viabilidade técnica	Lista de oportunidades viáveis	Qualitativo	Lista de oportunidades tecnicamente viáveis	Qualitativo
		Resultados de análises técnicas das oportunidades	Qualitativo	Requisitos das oportunidades (mudanças na equipe, treinamento, manutenção, etc)	Qualitativo
	Viabilidade econômica	Lista de oportunidades tecnicamente viáveis	Qualitativo	Indicadores de viabilidade econômica das oportunidades: tempo de payback, NPV, IRR	Quantitativo
		Requisitos das oportunidades (mudanças na equipe, treinamento, manutenção, etc)	Qualitativo	Classificação das oportunidades frente aos indicadores de viabilidade economica	Qualitativo
		Custos de implementação das oportunidades (investimentos de capital e custos operacionais)	Quantitativo	Lista de oportunidades economicamente viáveis	Qualitativo
		Estimativa da economia resultante das oportunidades	Quantitativo	-	-
	Viabilidade ambiental	Lista de oportunidades economicamente viáveis	Qualitativo	Lista de oportunidades viáveis tecnica, economica e ambientalmente	Qualitativo

	Atividades	Dados de entrada		Dados de saída	
		Descrição	Natureza	Descrição	Natureza
Estudo de viabilidade	Viabilidade ambiental	Estimativa dos benefícios/prejuízos ambientais referentes às mudanças: quantidades de resíduos emitidos, toxicidade dos resíduos, quantidades de recursos e energia consumidos, impactos ambientais do produto, etc.	Quali/Quantitativo	-	-
	Seleção de opções viáveis	Lista de oportunidades viáveis tecnica, economica e ambientalmente	Qualitativo	Lista priorizada de oportunidades	Qualitativo
		Atribuição de notas para cada tipo de critério	Quantitativo	-	-
Planejamento e Organização	Preparação de um plano de implementação	Lista priorizada de oportunidades	Qualitativo	Cronograma detalhado da implantação das oportunidades de P+L	Qualitativo
		Lista de atividades detalhadas das oportunidades	Qualitativo	-	-
		Requisitos de recursos para implantação	Quali/Quantitativo	-	-
		Responsáveis pelas atividades	Qualitativo	-	-
		Cronograma geral da empresa	Qualitativo	-	-
	Implementação das opções selecionadas	Procedimento da empresa para implantação de novos projetos	Qualitativo	Opções implementadas	Qualitativo
		Treinamentos específicos P+L	Qualitativo	-	-
		Cronograma detalhado da implantação das oportunidades de P+L	Qualitativo		
	Monitoramento do desempenho	Indicadores de desempenho	Quali/Quantitativo	Indicadores de desempenho em função do tempo	Quali/Quantitativo
	Manutenção das atividades de Produção Mais Limpa	Indicadores de desempenho em função do tempo	Quali/Quantitativo	Nova lista de oportunidades de P+L	Qualitativo
		Sistema de gestão da empresa	Qualitativo	-	-
		Estrutura de tomada de decisão da empresa	Qualitativo	-	-

APÊNDICE VI – Práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida: Dados e informações de entrada e saída

	Práticas	Informações/Dados de Entrada		Dados/Informações de Saída	
		Descrição	Natureza	Descrição	Natureza
Avaliação do Ciclo de Vida	Definição do objetivo e escopo	Sistema de produto a ser estudado	Qualitativa	Objetivo da ACV	Qualitativa
		Aplicação pretendida	Qualitativa	Escopo da ACV	Qualitativa
		Publico alvo	Qualitativa	-	-
		Intenção ou não de uso público do resultado	Qualitativa	-	-
		Funções do sistema de produto	Qualitativa	-	-
		Requisitos de dados, pressupostos, limitações	Qualitativa	-	-
		Requisitos de revisão crítica e formato de relatório	Qualitativa	-	-
		Unidade funcional	Qualitativa	-	-
		Fronteira do Sistema	Qualitativa	-	-
		Procedimentos de alocação	Qualitativa	-	-
		Cetegorias de impacto selecionadas	Qualitativa	-	-
	Inventário do Ciclo de Vida (ICV)	Objetivo da ACV	Qualitativa	Inventário do Ciclo de Vida	Quantitativa
		Escopo da ACV	Qualitativa	-	-
		Dados quantitativos de todos as fases da ACV	Quantitativa	-	-
		Cálculos com os dados	Quantitativa	-	-
		Alocação de fluxos (quando necessário)	Quantitativa	-	-
	Avaliação do impacto	Objetivo da ACV	Qualitativa	Associação dos dados do inventário às categorias de impactos	Quali/Quantitativa
		Escopo da ACV	Qualitativa	Correlação de resultados do ICV	Quali/Quantitativa
		Inventário do Ciclo de Vida	Quantitativa	Cálculo de resultados dos indicadores de categoria	Quantitativa
		Categorias de impacto, indicadores de categoria, modelos de categorização	Qualitativa	Cálculo da magniture dos resultados dos indicadores (normalização) - OPCIONAL	Quantitativa

	Práticas	Informações/Dados de Entrada		Dados/Informações de Saída	
		Descrição	Natureza	Descrição	Natureza
Avaliação do Ciclo de Vida	Avaliação do impacto	-	-	Agrupamento - OPCIONAL	Quantitativa
		-	-	Podenração - OPCIONAL	Quantitativa
		-	-	Resultados da Avaliação de Impacto	Quali/Quantitativa
	Interpretação do Ciclo de Vida	Objetivo da ACV	Qualitativa	Informações consistentes com objetivo e escopo	Quali/Quantitativa
		Escopo da ACV	Qualitativa	Conclusões, limitações e recomendações	Qualitativa
		Resultados da Avaliação de Impacto	Quali/Quantitativa	Análise da contribuição das fases do ciclo de vida	Quali/Quantitativa
		-	-	Revelação e alternativas de minimização dos impactos ambientais	Quali/Quantitativa
		-	-	Relatório final da ACV	Quali/Quantitativa
	Planilha de ACV	Produto foco da avaliação	Qualitativa	Planilha de ACV com informações sobre CV do produto	Quali/Quantitativa
		Etapas do ciclo de vida do produto	Qualitativa	-	-
		Materias-primas, energia e água consumidos	Quali/Quantitativa	-	-
		Resíduos gerados em todas as fases do CV	Quali/Quantitativa	-	-
	Ferramenta Visão de Ciclo de Vida	Produto foco da avaliação	Qualitativa	Planilha com listagem de todos os impactos do produto ao longo de	Qualitativa
		Etapas do ciclo de vida do produto	Qualitativa	*Hotspots* do ciclo de vida	Qualitativa
		Impactos ambientais (relativos a materiais, energia, saúde e toxicidade), sociais e econômicos relativos a todas as fases do ciclo de vida do produto	Qualitativa	-	-

Práticas	Informações/Dados de Entrada		Dados/Informações de Saída	
	Descrição	Natureza	Descrição	Natureza
Análise de Efeito Ambiental (AEA)	Produto a ser analisado	Qualitativa	Pontuação de cada aspecto ambiental para S, I, O e F.	Quantitativa
	Equipe de AEA	Qualitativa	Pontuação de cada aspecto ambiental para EPN/F.	Quantitativa
	Líder da equipe	Qualitativa	Recomendação da ações para cada aspecto.	Qualitativa
	Fases do ciclo de vida	Qualitativa	Aspectos ambientais das ações propostas (inclusive pontuações).	Quali/Quantitativa
	Atividades das fases do ciclo de vida	Qualitativa	-	-
	Aspectos ambientais das atividades	Qualitativa	-	-
	Informações sobre contexto ambiental da empresa (imagem)	Qualitativa	-	-
	Informações sobre legislação ambiental pertinente	Qualitativa	-	-
Matriz DfE	Produto foco da avaliação	Qualitativa	Nota total do produto	Quantitativa
	Etapas do ciclo de vida do produto	Qualitativa	Notas por fase do CV	Quantitativa
	Materiais e energias utilizados em todas as fases do CV	Qualitativa	Notas por tipo de aspecto ambiental	Quantitativa
	Resíduos gerados em todas as fases do CV	Qualitativa	-	-
	Informações e aspectos ambientais de todas as etapas do CV	Qualitativa	-	-
Matriz Ecofuncional	Seleção do produto a ser analisado	Qualitativa	Perfil ambiental	Quali/Quantitativo
	Usuário da função do produto	Qualitativa	Perfil funcional	Quali/Quantitativo
	Função do produto/característica de desempenho	Qualitativa	Identificação de áreas críticas	Quali/Quantitativo
	Aspectos funcionais: vida útil, confiabilidade, segurança, economia, etc	Quali/Quantitativo	-	-
	Aspectos ambientais: tamanho, materiais, toxicidade, consumo de energia, etc	Quali/Quantitativo	-	-

APÊNDICE VII – Integração das práticas da Engenharia e Gestão do Ciclo de Vida nas Etapas da Produção mais Limpa

P+L		Prática da EGCV	Detalhes
Fases	**Atividades**		
Planejamento e Organização	Obetenção do compromisso da gerência	-	Material de treinamento,
	Estabelecimento de uma equipe para o projeto	-	-
	Desenvolvimento de políticas, objetivos e metas	-	-
	Planejamento	-	-
Pré-avaliação	Descrição da empresa e fluxograma	-	-
	Inspeção *in loco*	-	-
	Estabelecimento de um foco	ACV - Objetivo e Escopo	Objetivo e Escopo do estudo
Avaliação	Coleta de dados quantitativos	ACV - Inventário	Inventário do CV do sistema de produto
	Balanço de massa e energia		
	Identificação de oportunidades de P+L	ACV	
		Planilha de ACV	
		Ferramenta Visão de Ciclo de Vida	Com base na listagem dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida (qualitativa), possibilita a indetificação de de etapas ou categorias de impactos mais relevantes.
		AEA	Utilizando a planilha de Análise de Efeito Ambiental, atribui notas para os aspectos nos critérios referentes aos requisitos legais, imagem da empresa , efeitos ao meio ambiente e possibilidade de melhoria. Ajuda a identificar pontos críticos.
		Matriz DfE	Por meio do preenchimento de um questionário, elabora a Matriz DfE que aponta quais as fases do CV e quais os aspectos mais críticos.
		Matriz Ecofuncional	Permite a identificação de áreas críticas correlacionando os perfis ambiental e funcional do produto (ou neste caso, processo) analisado.
	Listagem e classificação das oportunidades	-	-

P+L		Prática da EGCV	Detalhes
Fases	**Atividades**		
Estudo de viabilidade	Avaliação preliminar	Ferramenta Visão de Ciclo de Vida	A Ferramenta Visão de Ciclo de Vida baseia-se em dados qualitativos
	Viabilidade técnica	-	-
	Viabilidade econômica	-	-
	Viabilidade ambiental	ACV	
		Planilha de ACV	
		Ferramenta Visão de Ciclo de Vida	
		AEA	Atribui notas para as alternativas apresentadas, auxiliando na identificação dos benefícios ambientais das alternativas.
		Matriz DfE	Por meio do preenchimento de um questionário, elabora a Matriz DfE que aponta quais as fases do CV e quais os aspectos mais críticos para todas as alternativas.
		Matriz Ecofuncional	
	Seleção de opções viáveis		-
Planejamento e Organização	Preparação de um plano de implementação		-
		-	-
	Implementação das opções selecionadas	-	-
	Monitoramento do desempenho	-	-
	Manutenção das atividades de Produção Mais Limpa	-	-