



# **FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC**

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO INTEGRADA DE QUALIDADE,  
SAÚDE, MEIO AMBIENTE E SEGURANÇA DO TRABALHO**

**FLAVIA MELO MENEZES**

**PROPOSTA PARA MELHORIA DA METODOLOGIA DE PRODUÇÃO MAIS  
LIMPA UTILIZADA PELO CNTL POR MEIO DA INSERÇÃO DE FERRAMENTAS  
DE QUALIDADE E ESTATÍSTICA**

Salvador

2014

**FLAVIA MELO MENEZES**

**PROPOSTA PARA MELHORIA DA METODOLOGIA DE PRODUÇÃO MAIS  
LIMPA UTILIZADA PELO CNTL POR MEIO DA INSERÇÃO DE FERRAMENTAS  
DE QUALIDADE E ESTATÍSTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Especialização em Gestão Integrada de Qualidade, Saúde, Meio Ambiente e Segurança do Trabalho, da Faculdade de Tecnologia Senai Cimatec para a obtenção do título de especialista.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Edna dos Santos Almeida.

Co-orientador: Prof. M.Sc. Fábio Conceição de Menezes.

Salvador

2014

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

M541p

Menezes, Flavia Melo

Proposta para melhoria da metodologia de Produção mais Limpa utilizada pelo CNTL por meio da inserção de ferramentas de qualidade e estatística. / Flavia Melo Menezes - 2014.

70 f.: il. color.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr. Edna dos Santos Almeida

Coorientador: Fábio Conceição de Menezes

Possui referência bibliográfica

Monografia (Gestão Integrada de Qualidade, Saúde, Meio Ambiente e Segurança (QSMS)) – Programa de Pós-Graduação, Faculdade de Tecnologia Senai - CIMATEC, Salvador, 2014.

1. Produção mais Limpa. 2. Ferramentas de Qualidade. - Femenina. 3. CNTL. I. Faculdade de Tecnologia Senai - CIMATEC. II. Almeida, Edna dos Santos. III. Menezes, Fábio Conceição de. IV. Título.

CDD: 658

FLAVIA MELO MENEZES

PROPOSTA PARA MELHORIA DA METODOLOGIA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA  
UTILIZADA PELO CNTL POR MEIO DA INSERÇÃO DE FERRAMENTAS DE  
QUALIDADE E ESTATÍSTICA

Trabalho de conclusão de curso apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Gestão Integrada de Qualidade, Saúde, Meio Ambiente e Segurança (QSMS), Faculdade de Tecnologia Senai Cimatec.

Aprovada em 21 de novembro de 2014.

**Banca Examinadora**

---

Orientadora: Edna dos Santos Almeida

Doutora em Química pela Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil  
Faculdade de Tecnologia Senai Cimatec

---

Membro da banca: Arilma Oliveira do Carmo Tavares

Mestre em Engenharia Ambiental Urbana pela Universidade Federal da Bahia,  
Salvador, Brasil.

Faculdade de Tecnologia Senai Cimatec

21 de novembro de 2014

Dedico esse trabalho à minha família que com incentivo e compreensão me apoiou no cumprimento de mais uma etapa de vida.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pela força e perseverança para elaborar e concluir este trabalho, assim como também aos meus familiares por todo o apoio prestado, em especial ao meu marido Fábio por *insights* importantes para o êxito deste trabalho.

## RESUMO

A relação que as empresas constroem com o meio ambiente tem sido cada dia mais importante, seja para sua sobrevivência - por meio de resposta aos órgãos reguladores e fiscalizadores - seja para seu destaque frente à concorrência - por meio de inovação. Em ambos os casos a metodologia de Produção mais Limpa é uma estratégia poderosa para se alcançar o patamar desejado de desempenho ambiental. Por meio do programa para Produção mais Limpa, a ONU instalou Centros Nacionais de Produção mais Limpa em vários países. No Brasil o CNPL localiza-se no Senai-RS e chama-se Centro Nacional de Tecnologias Limpas. Apesar do potencial que a metodologia de P+L apresenta, sua ampla aceitação pelas empresas enfrenta alguns obstáculos, um deles sendo a fraca sistematização dos procedimentos que compõe suas etapas. Assim, o presente trabalho teve como objetivo elaborar uma proposta de melhoria da metodologia de Produção mais Limpa utilizada pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas, por meio da inserção de ferramentas de qualidade e estatística. A fim de realizar este trabalho buscou-se analisar as etapas de implantação da metodologia passíveis de melhorias, avaliar e selecionar as ferramentas de qualidade e estatística prováveis de utilização e, finalmente, propor a melhoria da metodologia por meio da inserção das ferramentas selecionadas. A metodologia de P+L do CNTL é composta por 20 passos em 5 fases: planejamento e organização; pré-avaliação e diagnóstico; avaliação de P+L; estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental; e implementação de opções e plano de continuidade. As seguintes ferramentas foram estudadas e avaliadas para possível utilização na metodologia: gráfico de tendência, 5W2H, fluxograma, matriz GUT, Gage R&R, diagrama de Ishikawa, brainstorming, folha de verificação, análise de Pareto, histograma, box-plot, gráficos de dispersão, coeficiente de Pearson, regressão, DOE, teste de hipóteses, FMEA, matriz de decisão, CEP e poka-yoke. Este trabalho alcançou seu objetivo por meio da inserção de 19 ferramentas de qualidade e estatística em 9 passos da metodologia de P+L do CNTL. As ferramentas foram inseridas principalmente em etapas de coleta e análise de dados, e validação dos resultados, tornando esta metodologia menos gerencial e mais técnica. Pode-se então sistematizar mais algumas etapas da metodologia, possivelmente levando a execuções mais rápidas e eficazes, assim como maximizando os benefícios de sua implantação.

**Palavras-chave:** Produção mais Limpa. Ferramentas de qualidade. CNTL

## ABSTRACT

The relationship between businesses and the environment has become more important nowadays, whether for the survival of the enterprises – by response to regulators and inspection bodies – whether for its distinction over the competition - through innovation. Either way, the methodology of Cleaner Production is a powerful strategy to achieve the desired level of environmental performance. Through the Cleaner Production program, the United Nations set up National Cleaner Production Centers in several countries. In Brazil, the CNPL is called National Center for Clean Technologies and is located at Senai-RS. Despite the potential that CP methodology presents, its wide acceptance by companies faces some obstacles, one of them being the weak systematization of procedures that comprise its stages. Thus, this study aimed to develop a proposal for improvement of Cleaner Production methodology used by the National Center for Clean Technology, through the insertion of quality and statistical tools. In order to conduct this study, the stages of CP methodology was analyzed through the search of its improvement points, quality and statistical tools were evaluated and selected for usage, and the CP methodology equipped with the selected quality and statistical tools was proposed. The CP methodology of NCCT consists of 20 steps in five phases: planning and organization; pre-assessment and diagnosis; CP evaluation; studies of technical, economic and environmental feasibility; and implementation options and continuity plan. The following tools have been studied and evaluated for possible use in the CP methodology: trend graph, 5W2H, flowchart, GUT matrix, Gage R&R, Ishikawa diagram, brainstorming, check sheet, Pareto analysis, histogram, box-plot, scatter plots, Pearson correlation coefficient, regression, DOE, hypothesis testing, FMEA, decision matrix, SPC and poka-yoke. This work has achieved its goal through the insertion of 19 quality and statistical tools in nine steps of CP methodology of CNTL. The tools were inserted primarily in steps of data collecting and analyzing, and validation of results, making it go from a less managerial approach to a more technical one. Through this work it has been possible to systematize more some of CP methodology steps, possibly leading to a more fast and effective execution, as well as maximizing the benefits of its implementation.

**Keywords:** Cleaner Production. Quality Tools. CNTL.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Evolução das questões ambientais.....	20
<b>Figura 2</b> - Evolução do número de certificações da ISO 14.001 de 2007 a 2012 no mundo e no Brasil. ....	23
<b>Figura 3</b> - Ciclo de implantação de um SGA da ISO 14.001.....	24
<b>Figura 4</b> - Diferenças entre tecnologias fim de tubo e produção mais limpa. ....	26
<b>Figura 5</b> - Organograma mestre das ações para redução da poluição.....	29
<b>Figura 6</b> – Etapas da metodologia de P+L do CNTL. ....	48
<b>Figura 7</b> - Elementos de processo para proposição de medidas de P+L. ....	57
<b>Figura 8</b> - Disposição dos passos da metodologia de P+L no ciclo PDCA.....	62

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Resultados possíveis de um teste de hipótese.....	40
<b>Quadro 2</b> - Relação das ferramentas de qualidade e estatística estudadas. ....	43
<b>Quadro 3</b> - Critérios da matriz GUT.....	53
<b>Quadro 4</b> - Resumo da inserção de ferramentas de qualidade e estatística na metodologia de P+L do CNTL. ....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	Aspectos e Impactos Ambientais
CEP	Controle estatístico de processos
CNPL	Centro Nacional de Produção mais Limpa
CNTL	Centro Nacional de Tecnologias Limpas
DOE	Design of experiments
FMEA	Failure mode and effect analysis
ISO	International Organization for Standardization
ONU	Organização das Nações Unidas
PDCA	Plan, do, check, and act
P+L	Produção mais Limpa
Senai	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
Unep	United Nations Environment Programme
Unido	United Nations Development Organization

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	PROBLEMÁTICA .....	16
1.2	JUSTIFICATIVA .....	17
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
2.1	EVOLUÇÃO DAS QUESTÕES AMBIENTAIS.....	19
2.2	SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL SEGUNDO A NBR ISO 14001.....	22
2.3	PRODUÇÃO MAIS LIMPA .....	25
<b>2.3.1</b>	<b>Técnicas de redução na fonte .....</b>	<b>30</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Técnicas de reciclagem interna e externa.....</b>	<b>31</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Técnicas fim-de-tubo .....</b>	<b>31</b>
2.4	FERRAMENTAS DE QUALIDADE.....	32
<b>2.4.1</b>	<b>Gráfico de tendência .....</b>	<b>34</b>
<b>2.4.2</b>	<b>5W2H.....</b>	<b>34</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Fluxograma .....</b>	<b>34</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Matriz GUT .....</b>	<b>34</b>
<b>2.4.5</b>	<b>Gage R&amp;R.....</b>	<b>35</b>
<b>2.4.6</b>	<b>Diagrama de Ishikawa .....</b>	<b>35</b>
<b>2.4.7</b>	<b>Brainstorming.....</b>	<b>36</b>
<b>2.4.8</b>	<b>Folha de verificação .....</b>	<b>36</b>
<b>2.4.9</b>	<b>Análise de Pareto .....</b>	<b>36</b>
<b>2.4.10</b>	<b>Histograma.....</b>	<b>37</b>
<b>2.4.11</b>	<b>Box-Plot.....</b>	<b>37</b>
<b>2.4.12</b>	<b>Gráfico de dispersão.....</b>	<b>37</b>
<b>2.4.13</b>	<b>Coeficiente de Pearson .....</b>	<b>38</b>
<b>2.4.14</b>	<b>Regressão .....</b>	<b>38</b>
<b>2.4.15</b>	<b>DOE.....</b>	<b>39</b>
<b>2.4.16</b>	<b>Teste de hipótese .....</b>	<b>39</b>
<b>2.4.17</b>	<b>FMEA.....</b>	<b>41</b>
<b>2.4.18</b>	<b>Matriz de decisão.....</b>	<b>41</b>
<b>2.4.19</b>	<b>CEP.....</b>	<b>42</b>
<b>2.4.20</b>	<b>Poka-yoke.....</b>	<b>42</b>

<b>3</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>44</b>
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	44
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>47</b>
5.1	PASSO 01: OBTER O COMPROMETIMENTO DA GERÊNCIA .....	49
5.2	PASSO 02: ESTABELECE O ECOTIME .....	49
5.3	PASSO 03: ESTABELECE A ABRANGÊNCIA DE P+L .....	50
5.4	PASSO 04: IDENTIFICAR BARREIRAS E SOLUÇÕES.....	51
5.5	PASSO 05: DESENVOLVER FLUXOGRAMA DE PROCESSO .....	51
5.6	PASSO 06: AVALIAR AS ENTRADAS E SAÍDAS. ....	52
5.7	PASSO 07: DETERMINAR FOCOS DE AVALIAÇÃO DE P+L .....	52
5.8	PASSO 08: ORIGINAR O BALANÇO DE MATERIAL.....	53
5.9	PASSO 09: AVALIAR AS CAUSAS.....	54
5.10	PASSO 10: GERAR OPORTUNIDADES DE P+L .....	56
5.11	PASSO 11: SELECIONAR AS OPORTUNIDADES DE P+L .....	57
5.12	PASSO 12: AVALIAÇÃO PRELIMINAR .....	58
5.13	PASSO 13: AVALIAÇÃO TÉCNICA .....	58
5.14	PASSO 14: AVALIAÇÃO ECONÔMICA .....	59
5.15	PASSO 15: AVALIAÇÃO AMBIENTAL.....	59
5.16	PASSO 16: SELEÇÃO FINAL DAS OPORTUNIDADES DE P+L .....	59
5.17	PASSO 17: PREPARAR PLANO DE P+L .....	60
5.18	PASSO 18: IMPLEMENTAR OPORTUNIDADES DE P+L .....	60
5.19	PASSO 19: MONITORAR E AVALIAR .....	61
5.20	PASSO 20: SUSTENTAR ATIVIDADES DE P+L .....	61
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>66</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As empresas têm se deparado com um processo crescente de cobrança por uma postura responsável e de comprometimento com o meio ambiente pelos órgãos reguladores e fiscalizadores, organizações não governamentais e, principalmente, o próprio mercado, incluindo as entidades financiadoras, como bancos e seguradoras. Esta cobrança tem influenciado a ciência, a política, a legislação, e as formas de gestão e planejamento empresarial (NICOLELLA, 2004).

Tudo começou com a criação da máquina a vapor na Inglaterra no século XVIII que deu início à Revolução Industrial. Com o advento deste equipamento foi possível produzir uma quantidade maior de produtos, com menos custo, aumentando assim o lucro das empresas. O aumento da produtividade, no entanto, refletiu-se em maior consumo de matérias-primas e em maior geração de rejeitos sólidos, líquidos e gasosos. Como a natureza e seus recursos eram tidos como abundantes, a questão ambiental não era considerada no setor industrial.

Contudo, conforme afirmava o cientista Isaac Newton, toda ação gera uma reação. Apesar de ser esta uma lei que trata do efeito físico de uma ação, ela pode facilmente ser aplicada em outros setores. Na produção industrial, por exemplo, vemos que o desenvolvimento tecnológico, por meio dos seus processos produtivos, de um lado tem extraído do meio ambiente, recursos naturais, e por outro lado, tem despejado rejeitos sólidos, líquidos e gasosos. Esse desgaste provocado na natureza a uma velocidade maior do que o tempo necessário para sua recomposição pode levar a sérias consequências para o planeta e para o modo de vida que estamos acostumados hoje.

Neste sentido, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas afirma que o aquecimento do clima é inquestionável, e que a influência humana foi detectada no aquecimento da atmosfera e no oceano, em mudanças do ciclo da água no âmbito global, em reduções da neve e do gelo, no nível médio dos oceanos e nas ocorrências de climas extremos (IPCC, 2014, tradução nossa).

Nas primeiras seis semanas do ano 2014 diversas partes do mundo têm sofrido uma série de anomalias climáticas, segundo a Organização Meteorológica Mundial. Nos Estados Unidos, uma onda de frio, e grandes tempestades de inverno cobriram sua maior parte, enquanto a Califórnia permaneceu dominada pela seca. O Reino Unido presenciou seu bimestre Dezembro-Janeiro mais molhado, com inundações

severas e prolongadas por todo seu território. Uma combinação de ventos fortes, tempestades e marés altas causaram inundações em outras zonas costeiras da Europa. Nos Alpes, houve uma forte tempestade de neve. No hemisfério sul, Austrália, Argentina e Brasil sofreram com ondas de calor extensas (WMO, 2014, tradução nossa).

Frente a este cenário global, em que fica nítida a influência das atividades humanas nas condições de vida do planeta, alguns perguntarão: o que fazer e com que intensidade atuar para tentar minimizar ou reverter essa situação?

Pode-se lançar mão de um estudo realizado por Kiperstok (2002) como um ponto de partida para responder a esta questão. A fim de avaliar a intensidade do impacto ambiental num horizonte de 50 anos, o autor lançou mão da Equação Mestra de Impacto Ambiental (GRAEDEL; ALLENBY, 1998 *apud* KIPERSTOK, 2002).

$$\text{IMPACTO AMBIENTAL} = (\text{POPULAÇÃO}) \times (\text{CONSUMO/RENDA PER CAPITA}) \times (\text{IMPACTO AMBIENTAL/ UNIDADE DE PRODUÇÃO})$$

Tomando valores conservadores das Nações Unidas para crescimento populacional e de consumo/renda per capita do Banco Mundial, Kiperstok (2002) chega-se em uma expressão em que a população se duplica, e o consumo/renda per capita aumenta em cinco vezes. Dessa forma, para que o nível de impacto ambiental em 2050 permaneça o mesmo de 2000, é necessário reduzir em dez vezes o nível de impacto ambiental. Esta projeção, também chamada de Fator 10, independente da sua precisão, sugere a necessidade de uma mudança profunda na forma de produção e consumo de bens e serviços a fim de aumentar a ecoeficiência no ciclo de vida de bens e serviços.

O conceito de ecoeficiência foi cunhado em 1992 pelo Conselho Mundial de Empresas para o Desenvolvimento Sustentável, adotando como diretriz a distribuição de produtos e serviços a preços competitivos, de maneira a satisfazer às necessidades humanas, ampliando a qualidade de vida, ao mesmo tempo em que, progressivamente, reduzindo os impactos ambientais e a demanda por recursos naturais por todo o ciclo de vida do produto ou serviço, respeitando a capacidade de suporte da Terra (COELHO, 2004).

Na área administrativa se afirma: “o que não se mede não se gerencia”. Ou seja, a fim de gerir um determinado indicador de uma empresa, seja ele social, econômico ou ambiental, é necessário medi-lo a fim de validar sua eventual melhora

ou piora ao longo do tempo. Assim, deve-se gerenciar os indicadores ambientais de uma empresa a exemplo de recursos naturais consumidos e resíduos sólidos, líquidos e gasosos gerados. Neste intuito, algumas formas de gerenciamento ambiental foram criadas, proporcionando um sistema estruturado de levantamento de informações a respeito dos aspectos ambientais relacionados ao processo produtivo ou de realização de serviços das empresas, assim como facilitar e orientar sobre a adoção de medidas adequadas para sua gestão.

O Sistema de Gestão Ambiental (SGA), segundo as normas da *International Organization for Standardization* (ISO), tem sido uma das formas de gerenciamento ambiental mais adotada pelas empresas. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004), a NBR ISO 14001:2004 especifica requisitos relativos a um Sistema de Gestão Ambiental, permitindo a uma organização formular uma política e objetivos que levem em conta os aspectos legais e as informações referentes aos impactos significativos. Ela se aplica aos aspectos ambientais que possam ser controlados pela organização e sobre os quais se presume que ela tenha influência (ABNT, 2004 *apud* CAPPARELLI, 2010). Entretanto, a própria ABNT (2004) afirma que a sua adoção não implica na melhoria imediata do desempenho ambiental da empresa, devendo a mesma promover melhorias contínuas no processo produtivo ou na realização de serviços para este fim.

Dentre outras metodologias voltadas para a promoção da melhoria contínua do desempenho ambiental de processos produtivos e de realização de serviços, a Produção mais Limpa (P+L) é uma das que possui maior reconhecimento mundial. Segundo a *United Nations Environment Programme* (UNEP, 2001, tradução nossa), ela é uma estratégia comprovada para “melhoria do uso eficiente dos recursos naturais e minimização na fonte de resíduos, poluição e riscos à saúde humana”. Esta metodologia pode ser aplicada a processos, produtos e serviços com vistas a reduzir os riscos para o meio ambiente, sociedade, e gerar benefícios econômicos para as empresas.

Depois da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro em 1992, o *United Nations Industrial Development Organization* (Unido) e o Unep lançaram o *NCPC Programme*, um programa para instalar Centros Nacionais de Produção mais Limpa (CNPL) em países subdesenvolvidos. O CNPL é um centro profissional que fornece e coordena serviços relacionados à metodologia, política, boas práticas e tecnologias de P+L. Depois de

14 anos de experiência, o *NCPC Programme* foi revisado e em 2009 a Unep e a Unido lançaram seu novo programa *Joint Resource Efficient and Cleaner Production* que fornece a estrutura e apoio aos CNPLs (UNEP, 2014, tradução nossa). Hoje é possível encontrar CNPLs em 47 países, onde especialistas nacionais são treinados, a metodologia P+L é implementada, e experiências e resultados são disseminados entre as empresas, governos, associações profissionais e sociedade civil (UNIDO, 2014a, tradução nossa).

Em 2007, uma equipe independente, orientada pelo comitê formado pelas agências das Nações Unidas e patrocinadores-chave do programa, avaliou o *NCPC Programme*, instalados em 37 países até então. Esta avaliação constatou que apesar do Programa ter tido êxito em alguns aspectos, ele poderia ter uma contribuição maior na melhoria do desempenho ambiental e produtividade das empresas. Um dos doze itens recomendados pela avaliação para fortalecer o Programa foi “a busca pela excelência, por meio da melhoria contínua dos serviços oferecidos de Produção mais Limpa pelos Núcleos” (UNIDO-UNEP, 2008, tradução nossa). Uma possível leitura deste item é a melhoria da própria metodologia de P+L, que apesar de ser estruturada em etapas definidas, não apresenta procedimentos específicos que detalhem sua aplicação (CAPPARELLI, 2010).

Frente a esse cenário, esse trabalho se propõe a estudar como as diversas ferramentas de qualidade e estatísticas hoje conhecidas e em uso podem auxiliar na execução da metodologia de Produção mais Limpa do CNPL brasileiro – Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) – no processo de melhoria contínua, preenchendo possíveis lacunas da mesma.

## 1.1 PROBLEMÁTICA

A Produção mais Limpa é uma metodologia de melhoria de desempenho ambiental mundialmente reconhecida, e aplicável a todo tipo e porte de empresa. Apesar de esta metodologia apresentar etapas bem definidas, ela não detalha procedimentos específicos para seu cumprimento (CAPPARELLI, 2010). Nesse contexto, incentivou-se o desenvolvimento da seguinte problemática de pesquisa: Existe possibilidade de melhoria da metodologia de Produção mais Limpa do Centro Nacional de Tecnologias Limpas por meio da inserção de ferramentas de qualidade e estatística?

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A metodologia desenvolvida pela Unep/Unido em 1996, visa abordar temas centrais à Produção mais Limpa, para fins de orientação aos consultores nessa área. Dessa forma, a Unep/Unido enfatiza que a metodologia elaborada não cobre todos os aspectos do tema, e afirma que está preparada para trabalhar com profissionais que desejam expandir esta metodologia para novas direções, ou aprofundar em alguns de seus aspectos.

Diante disso, Silva *et al* (2012) e Calia (2007) afirmam que, apesar da ampla utilização e dos vários benefícios econômicos, ambientais e sociais que a P+L pode proporcionar, sua implementação contínua vem enfrentando algumas barreiras, e uma das mais evidentes é a falta de continuidade sistemática do programa. Um aspecto que pode contribuir para este problema é a falta de procedimentos de implementação e o uso de ferramentas e técnicas que podem ser empregadas para alcançar resultados em cada etapa (SILVA *et al*, 2012; CALIA, 2007).

Dessa forma, apesar da importância da metodologia de P+L, o fato de ela não estar estruturada de forma a ser sistematicamente implantada, pode involuntariamente promover o surgimento de diversas “versões” de sua implantação devido aos espaços que deixa em aberto na descrição operacional de suas etapas. Como consequência dessa falta de padronização de seus processos, ela pode fragilizar sua consolidação no segmento empresarial. Uma alternativa na busca da sistematização da metodologia de P+L pode ser a inserção de ferramentas de qualidade e estatística.

As ferramentas de qualidade são de domínio público, bem conhecidas, utilizadas e integradas aos processos de gestão da maioria das empresas, gestores têm familiaridade com elas e, além disto, são facilmente adaptáveis ao sistema de gestão ambiental, uma vez que programas de qualidade e meio ambiente possuem muitos objetivos em comum (POJASEK, 1999 *apud* SILVA *et al*, 2012)

Silva *et al* (2012), em seu artigo intitulado “Ferramentas de qualidade aplicadas aos programas de Produção mais Limpa”, propuseram a inserção de 10 ferramentas de qualidade simples na implantação de programas de P+L (tradução nossa). Eles recomendaram que ferramentas de qualidade mais avançadas fossem estudadas para eventualmente serem incluídas na metodologia de P+L em trabalhos futuros.

Atualmente existem ferramentas de qualidade e estatística que visam desde facilitar a identificação de causas de problemas/ efeitos não desejados, avaliar o comportamento de uma determinada variável em função de outra(s), até consolidar uma mudança de comportamento de um processo ou produto constatando estatisticamente a melhora ou piora do seu desempenho.

Segundo Santos (2005), independente do setor, ferramentas de qualidade que tem por base a estatística, são fortemente utilizadas para se ter conhecimento da variabilidade e padronização dos processos. Dessa forma, ela pode fornecer informações importantes para melhorar a compreensão do processo e permitir abordagens inovadoras para sua validação (UNITED STATES, 2011 *apud* CURTIVO, 2011).

Dessa forma, as ferramentas de qualidade podem ser inseridas na metodologia de Produção mais Limpa para auxiliar as empresas a buscarem de forma eficiente a melhoria do desempenho ambiental de seus processos produtivos e de serviços, angariando os benefícios diretos e indiretos que elas proporcionam, e promovendo o aperfeiçoamento contínuo de seus sistemas de gestão ambiental.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

No referencial teórico será apresentado como as questões ambientais tem evoluído ao longo do tempo no âmbito empresarial, de uma abordagem mais reativa para uma abordagem mais estratégica e inovadora.

Em seguida decorre-se sobre o Sistema de Gestão Ambiental segundo a norma ISO 14.001 e como esta metodologia pode auxiliar as empresas na busca por um funcionamento mais ambientalmente adequado através do conhecimento, monitoramento e controle de seus aspectos ambientais.

Na sequência, a Produção mais Limpa é exposta, abordando sobre seu surgimento e como ela pode complementar e aprimorar o Sistema de Gestão Ambiental implantado na empresa.

Por último tratar-se-á das ferramentas de qualidade e estatística que podem contribuir para uma sistematização maior na implementação de metodologias de Produção mais Limpa, por meio de suas funcionalidades.

### 2.1 EVOLUÇÃO DAS QUESTÕES AMBIENTAIS

Segundo Marques (2005 *apud* COSTA; DAMASCENO; SANTOS, 2012), desde o início da década de 50, os impactos da industrialização sobre o meio ambiente já começavam a ser percebidos. Na Inglaterra, o fenômeno “*Smog*” provocou o óbito de cerca de 8 mil pessoas; no Japão, o desastre ambiental por mercúrio na Baía de Minamata, provocou a morte de centenas de pessoas e milhares tiveram anomalias congênitas; já nos Estados Unidos, usou-se indiscriminadamente o dicloro difenil tricloroetano (DDT), pesticida persistente, bioacumulativo e tóxico ao meio ambiente. Essa situação culminou, na década de 70, na realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, em Estocolmo, a partir do qual foram formados os primeiros órgãos ambientais e estabelecidas as primeiras regulamentações, com o objetivo de proteger o meio ambiente da degradação ambiental provocada pelo homem.

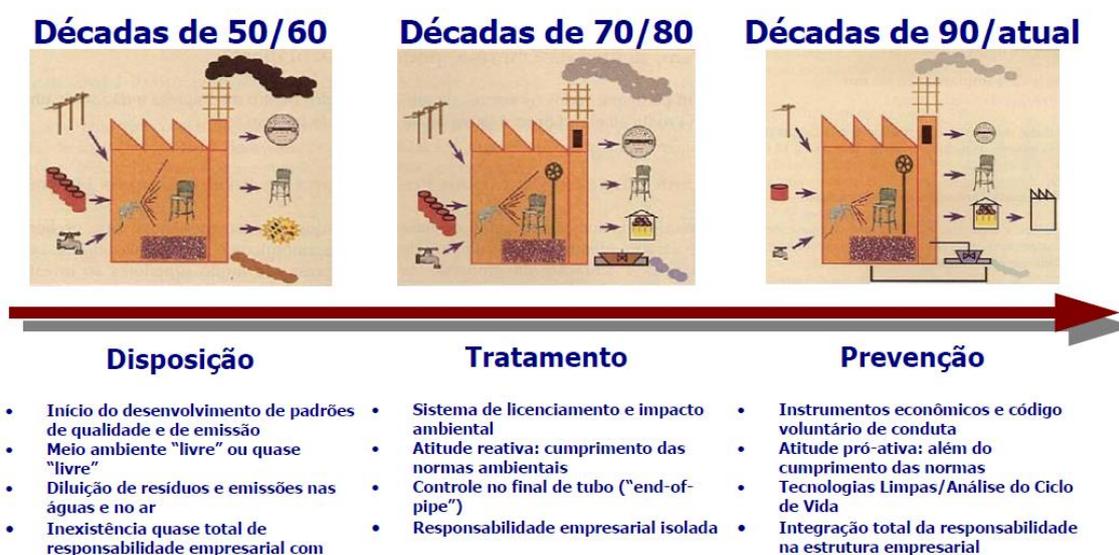
Na década de 80, novos desastres ambientais aconteceram. O petroleiro Exxon Valdez colidiu em um rochedo no Alaska, deixando vaziar 41 milhões de litros de petróleo, contaminando um corpo hídrico remoto, cênico e biologicamente produtivo (U.S.A., 2014). Em Bhopal, na Índia, a Union Carbide, emitiu no ar 40 toneladas de

isocianato de metila, gás letal, provocando a morte de cerca de 8.000 pessoas (GREENPEACE, 2014). Na Rússia, um dos quatro reatores da usina nuclear soviética de Chernobyl explodiu, emitindo 190 toneladas de combustível do reator, contaminando os territórios da Bielorrússia, Ucrânia e Rússia, e a Europa (BIZZOTTO, 2006). Esses acontecimentos despertaram uma preocupação global maior com a conservação do meio ambiente, e em 1987 foi formada a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento.

Esta Comissão, também conhecida por Comissão Burtland, publicou o relatório “Nosso Futuro em Comum”, que trouxe o conceito inovador de desenvolvimento sustentável: “O desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades” (ONU, 2014). As amplas recomendações feitas pela Comissão Burtland levaram à realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento no Rio de Janeiro em 1992. Nessa reunião foi elaborada a “Agenda 21”, documento no qual os governos delinearão um programa detalhado de ação numa tentativa de afastar o mundo do atual modelo insustentável de crescimento econômico (ONU, 2014).

Concomitantemente com a evolução das questões ambientais no mundo, o foco da gestão ambiental nas empresas também sofreu mudanças ao longo das décadas, sofrendo um processo de amadurecimento, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Evolução das questões ambientais.



Fonte: CNTL, 2003.

Diante dessa evolução, Barbieri (2011) afirma que, as empresas atualmente possuem três possíveis abordagens ambientais: reativa, proativa e inovadora.

Na *Abordagem Reativa*, Barbieri (2011) afirma que as ações ambientais da empresa podem resultar de uma postura reativa na qual ela centra suas atenções no controle da poluição, ou seja, sobre os efeitos negativos de seus produtos e processos produtivos. Segundo ele, em geral, o controle da poluição tem por objetivo atender às exigências estabelecidas nas legislações e regulamentações ambientais às quais a empresa está sujeita e às pressões da comunidade.

Já na *Abordagem Proativa* a empresa busca atuar sobre os produtos e processos produtivos para prevenir a geração de poluição, empreendendo ações com vistas a uma produção mais eficiente e, portanto, poupadora de materiais e energia em diferentes fases do processo de produção e comercialização (BARBIERI, 2011). Segundo Barbieri (2011), esta tipologia combina duas preocupações ambientais básicas que são o uso sustentável dos recursos e prevenção da poluição, apoiando ações de: redução da poluição na fonte, reutilização e reciclagem.

Barbieri (2011) afirma que na *Abordagem Inovadora*, os problemas ambientais são tratados como questões estratégicas da empresa e, portanto, relacionadas com a busca de uma situação vantajosa no seu negócio atual ou futuro. Além das práticas de controle e prevenção da poluição, a empresa procura aproveitar oportunidades mercadológicas e neutralizar ameaças decorrentes de questões ambientais existentes ou que poderão ocorrer no futuro (BARBIERI, 2011). Ele ainda afirma que o envolvimento das empresas com os problemas ambientais adquire importância estratégica à medida que aumenta o interesse da opinião pública sobre as questões ambientais.

Podemos dizer então que a evolução da abordagem ambiental pelas empresas ocorreu de fora para dentro. Inicialmente, devido às legislações ambientais, se buscou apenas tratar e dispor os rejeitos, em seguida observou-se que estes poderiam ser prevenidos durante o processo produtivo, e por fim, através de um processo de inovação, estes poderiam nem ser gerados na produção. Para atingir este patamar, Kiperstok (2002) orienta que as empresas sejam agressivas no processo de inovação. Como consequência, a empresa colhe o duplo dividendo (PORTER; LINDE, 1995): menos custos operacionais e mais lucro pelo aumento do valor agregado do produto!

Porter e Linde (1995) afirmam que a poluição é muitas vezes uma forma de desperdício econômico, uma vez que o descarte de resíduos, substâncias nocivas, ou

formas de energia no meio ambiente, é um sinal de que estes recursos foram utilizados de forma incompleta, ineficiente ou ineficaz. Eles relatam ainda que além destas perdas, as empresas ainda precisam realizar outras operações que adicionam mais custo, mas que não geram valor agregado ao produto, como por exemplo, o manuseio, armazenamento, tratamento e descarte dos resíduos/emissões.

É claro que não se pode eliminar todos os rejeitos industriais e tornar a empresa 100% limpa, mas pode-se fazer o esforço para torná-la a mais ambientalmente amigável possível. Para isso, duas ferramentas metodológicas podem auxiliar nesse caminho: o sistema de gestão ambiental e a produção mais limpa. O sistema de gestão ambiental torna a empresa ciente da sua intervenção no meio ambiente, e a produção mais limpa permite enxergar as oportunidades de melhoria ambiental no seu processo produtivo.

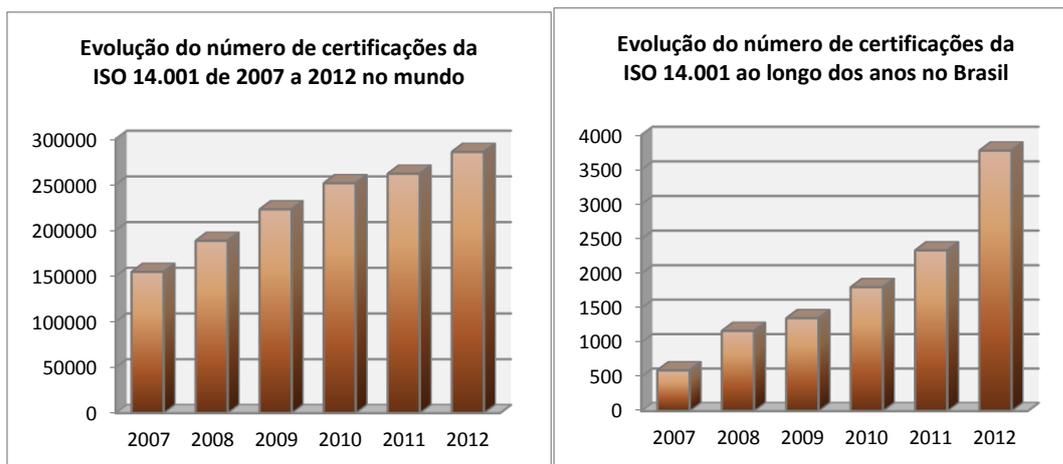
## 2.2 SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL SEGUNDO A NBR ISO 14001

Segundo CAPPARELLI (2010), a *International Organization for Standardization* (ISO), representado no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com o intuito de padronizar métodos, medidas e materiais e seu uso na área ambiental de empresas, desenvolveu, em 1992, uma série de normas para gestão ambiental. A série ISO 14000 inclui normas com diretrizes para Gestão Ambiental que são reconhecidas internacionalmente.

A NBR ISO 14001:2004 está relacionada ao Sistema de Gestão Ambiental (SGA). Ela fornece, em primeiro lugar, elementos de um SGA, o qual nada mais é que uma forma eficaz de planejar, organizar e praticar as ações ambientais das organizações. Em segundo lugar, na norma, especificam-se os passos essenciais ou requisitos do SGA, que se aplicam adequadamente a todos os tipos e portes e a diferentes condições geográficas, culturais e sociais das organizações (FIESP, 2007).

Segundo Coelho (2004), atualmente, as empresas estão sendo mobilizadas a uma corrida em busca da certificação de Sistema de Gestão Ambiental - SGA, com o objetivo de demonstrar que seus processos, produtos e serviços, estão em conformidade com normas ambientais internacionalmente aceitas. Essa tendência de crescimento na implantação do SGA pode ser observada na evolução do número de certificações da ISO 14.001 no mundo e no Brasil, divulgados pelo ISO Survey abaixo (ISO, 2014).

Figura 2 - Evolução do número de certificações da ISO 14.001 de 2007 a 2012 no mundo e no Brasil.



Fonte: ISO, 2014.

Apesar da adoção deste instrumento ser voluntária, muitas empresas buscam a certificação, motivados em grande parte pela existência de barreiras mercadológicas não tarifárias impostas por países desenvolvidos, e à aceitação de produtos/processos considerados ambientalmente inadequados (BAPTISTA *et al*, 2001 *apud* COELHO, 2004).

A implantação do SGA conforme a norma ISO 14.001 está estruturada em etapas bem definidas, essenciais para a implantação do SGA e compreensão de todos os envolvidos sobre a funcionalidade e a importância deste instrumento na gestão dos aspectos ambientais da empresa.

A norma ISO 14.001 atua em cima dos processos com foco na melhoria contínua e assim, utiliza como base para sua estruturação a metodologia *Plan-Do-Check-Act* (PDCA)/(Planejar-Executar-Verificar-Agir). O PDCA pode ser descrito da seguinte forma:

- a) Planejar (*Plan*): Estabelecer os objetivos e processos necessários para atingir os resultados em concordância com a política ambiental da organização;
- b) Executar (*Do*): Implementar os processos;
- c) Verificar (*Check*): Monitorar e medir os processos em conformidade com a política ambiental, objetivos, metas, requisitos legais e outros, e relatar os resultados;
- d) Agir (*Act*): Agir para continuamente melhorar o desempenho do sistema de gestão ambiental.

A Figura 3 ilustra o Ciclo do PDCA, baseado na Norma ISO 14001.

Figura 3 - Ciclo de implantação de um SGA da ISO 14.001.



Fonte: adaptado da ABNT, 2004.

Segundo a ISO 14.001, a organização deve estabelecer, documentar, implementar, manter e continuamente melhorar um sistema de gestão ambiental em conformidade com seus requisitos e determinar como ela atenderá a esses requisitos. Eles estão contidos nas seguintes etapas macro de implantação da ISO 14.001:

- Planejamento* consta do estabelecimento, implementação e manutenção de procedimentos para identificar os principais aspectos ambientais das atividades, produtos e serviços da empresa; levantar os requisitos legais aplicáveis; e estabelecer objetivos, metas e programas ambientais;
- Implementação e Operação* consiste na estrutura necessária para alcançar os objetivos e metas ambientais;
- Verificação e Ações Corretivas*. Esta etapa tem a finalidade de checar e adequar o SGA implantado, com objetivos e metas ambientais definidos (COELHO, 2004);
- Análise Crítica pela Alta Administração* do SGA implantado deve ser realizada em intervalos planejados para assegurar sua continuada adequação, pertinência e eficácia. Análises devem incluir a avaliação de oportunidades de melhoria e a necessidade de alterações no sistema de gestão ambiental, inclusive dos objetivos e metas ambientais.

Segundo a ABNT (2004) a demonstração de um processo bem-sucedido de implantação desta Norma pode ser utilizada por uma organização para assegurar às partes interessadas que ela possui um sistema de gestão ambiental apropriado em funcionamento.

Contudo, a ABNT (2004) salienta que a ISO 14001:2004 não estabelece requisitos absolutos para o desempenho ambiental além do comprometimento, expresso na política, de atender à legislação e regulamentos aplicáveis e com a melhoria contínua. Dessa forma, o estabelecimento e operação do sistema de gestão ambiental segundo a ISO 14001:2004, por si só, não resultará, necessariamente, na redução imediata de impactos ambientais adversos.

Assim, para a realizar a redução de impactos ambientais adversos, ou seja, implantar o processo de melhoria contínua na empresa, que segundo a ABNT (2004), é o “processo de aprimoramento do sistema de gestão ambiental, visando atingir melhorias no desempenho ambiental de acordo com a política ambiental da organização”, uma das metodologias que pode ser utilizada é a Produção mais Limpa.

### 2.3 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Na época em que o termo *Produção mais Limpa* foi lançado pela *United Nations Environment Programme* (UNEP), no final da década de 80, o conceito ambiental que predominava nas empresas era o de “Tecnologias Fim-de-Tubo”. Denominam-se tecnologias fim-de-tubo aquelas utilizadas ao final da produção, nos tratamentos de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas adotados pelas empresas, assim como no descarte e disposições finais, com o objetivo de atender aos parâmetros definidos pelos órgãos ambientais (CEBDS, 2003).

A Tecnologia Fim-de-Tubo considera a geração de resíduos inerente ao processo produtivo, logo inevitável. Dessa forma, a única forma de atuar sobre ele a fim de atender aos requisitos legais é ao final do processo, por meio de tratamentos e disposições finais adequados, muitas vezes altamente custosos para a empresa. Sob esse conceito, o resíduo é considerado um problema que é gerado no processo industrial e que deve ser tratado e descartado da melhor forma possível a fim de não gerar novos problemas para a empresa.

A gestão ambiental com foco na abordagem preventiva da Produção mais Limpa derruba esse paradigma de que resíduos são inevitáveis na produção, para assumir o novo paradigma de que gerar resíduos representa uma ineficiência do processo produtivo e portanto, por meio de implantação de melhorias são evitáveis. Isso ocorre, uma vez que a geração de resíduos significa a transformação de matérias primas/insumos (alto valor agregado), em resíduos ou subprodutos (baixo, ou nenhum

valor agregado), que podem ainda adicionar mais custos ao processo produtivo, quando são tratados e dispostos adequadamente (GARDNER, 2001 *apud* COELHO, 2004). Dessa forma, prevenir a geração de resíduos ao longo do processo produtivo deveria ser de duplo interesse para a empresa, uma vez que se aproveita melhor a matéria-prima/ insumos adquiridos no processo produtivo, ao mesmo tempo em que se diminui o volume de resíduos que deverão ser tratados e dispostos adequadamente.

Com base nisso, a Figura 4 apresenta uma tabela comparativa entre os conceitos de Tecnologias Fim de Tubo e Produção mais Limpa.

Figura 4 - Diferenças entre tecnologias fim de tubo e produção mais limpa.

<b>TECNOLOGIAS FIM DE TUBO</b>	<b>PRODUÇÃO MAIS LIMPA</b>
Como se pode tratar os resíduos e as emissões existentes?	De onde vem os resíduos e as emissões?
... pretende reação.	... pretende ação.
... geralmente leva a custos adicionais.	... pode ajudar a reduzir custos.
Os resíduos e emissões limitados através de filtros e técnicas de tratamento; Soluções de Fim de Tubo; Tecnologia de reparo; Estocagem de resíduos.	Prevenção de resíduos e emissões na fonte; Evita processos e materiais potencialmente tóxicos.
Proteção ambiental entra depois do desenvolvimento de produtos e processos	Proteção ambiental entra como parte integral do <i>design</i> do produto e da engenharia de processo.
Problemas ambientais resolvidos a partir de um ponto de vista tecnológico.	Tenta - se resolver os problemas ambientais em todos os níveis / em todos os campos.
Proteção ambiental é um assunto para especialistas competentes.	Proteção ambiental é tarefa de todos.
... é trazida de fora.	... é uma inovação desenvolvida na empresa.
... aumenta o consumo de material e energia.	... reduz o consumo de material e energia.
Complexidade e riscos aumentados.	Riscos reduzidos e transparência aumentada.
Proteção ambiental desce para preenchimento de prescrições legais.	Riscos reduzidos e transparência aumentada.
... resultado de um paradigma de produção do tempo em que os problemas ambientais não eram conhecidos.	... abordagem que pretende criar técnicas de produção para um desenvolvimento sustentável.

Fonte: CNTL, 2000 *apud* COELHO, 2004.

O termo Produção mais Limpa (P+L) foi introduzido pela *United Nations Environment Programme* (UNEP) em 1989 como uma abordagem inovadora para conservação de recursos e gestão ambiental. Segundo a *United Nations Industrial Development Organization* (UNIDO, 2014b, tradução nossa), Produção mais Limpa é definida como: “a aplicação contínua de uma estratégia preventiva, econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos, produtos, e serviços visando o aumento da eficiência produtiva e redução de riscos à saúde humana e ao meio

ambiente”. O objetivo inicial das atividades de P+L da Unep, na época, era aumentar a conscientização sobre o conceito de produção mais limpa e promover a sua adoção pela indústria. Hoje, além dessas atividades, o leque de serviços oferecido à sociedade, pela atuação dos CNPLs, inclui (UNIDO, 2014a, tradução nossa): auxílio na obtenção de financiamento para investimentos de P+L, orientação sobre políticas públicas para governos nacionais e locais, e disseminação de informações técnicas.

Domingues e Paulino (2009) afirmam que a abordagem da P+L é baseada na compatibilidade entre melhorias ambientais e ganhos econômicos, sendo utilizada como uma metodologia que permite caracterizar e sintetizar oportunidades para a efetivação de melhorias ambientais nas empresas. A implantação da P+L é compatível com o aproveitamento de oportunidades para a incorporação de tecnologias e procedimentos que permitam aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água, energia e reduzir impactos ambientais adversos. Se por um lado, as perdas no processo produtivo são consideradas como evidência de um desempenho econômico negativo, por outro, esforços para a redução do consumo de matéria-prima e de energia, assim como para a redução ou prevenção da geração de perdas resultam no aumento da produtividade, o que beneficia a empresa financeiramente (CALIA, 2007).

Dessa forma, a Produção mais Limpa busca racionalizar e minimizar o uso da matéria-prima e insumos no início e ao longo do processo produtivo, assim como busca reduzir, minimizar ou evitar a geração de resíduos em toda linha de produção. De forma que, ao final, a quantidade e o tipo de matéria-prima e insumos consumidos sejam os essencialmente necessários, e os resíduos gerados sejam aqueles cuja utilidade já foi esgotada, ou seja, as possibilidades de reuso e reciclagem interna já foram consideradas. Assim, economiza-se nos dois extremos: menor custo na compra de matérias-primas e insumos, e menor despesa no tratamento e disposições adequadas dos resíduos.

A Unep (1996) enumera alguns aspectos importantes da metodologia de P+L:

- a) A metodologia de Produção mais Limpa reduz a geração de poluentes a cada etapa do processo produtivo, a fim de minimizar ou eliminar resíduos que devem ser tratados ao final do processo;
- b) Os termos “prevenção da poluição”, “redução na fonte”, e “minimização de resíduos” são comumente usados com o mesmo significado da Produção mais Limpa;
- c) Produção mais Limpa pode ser alcançada por meio de:

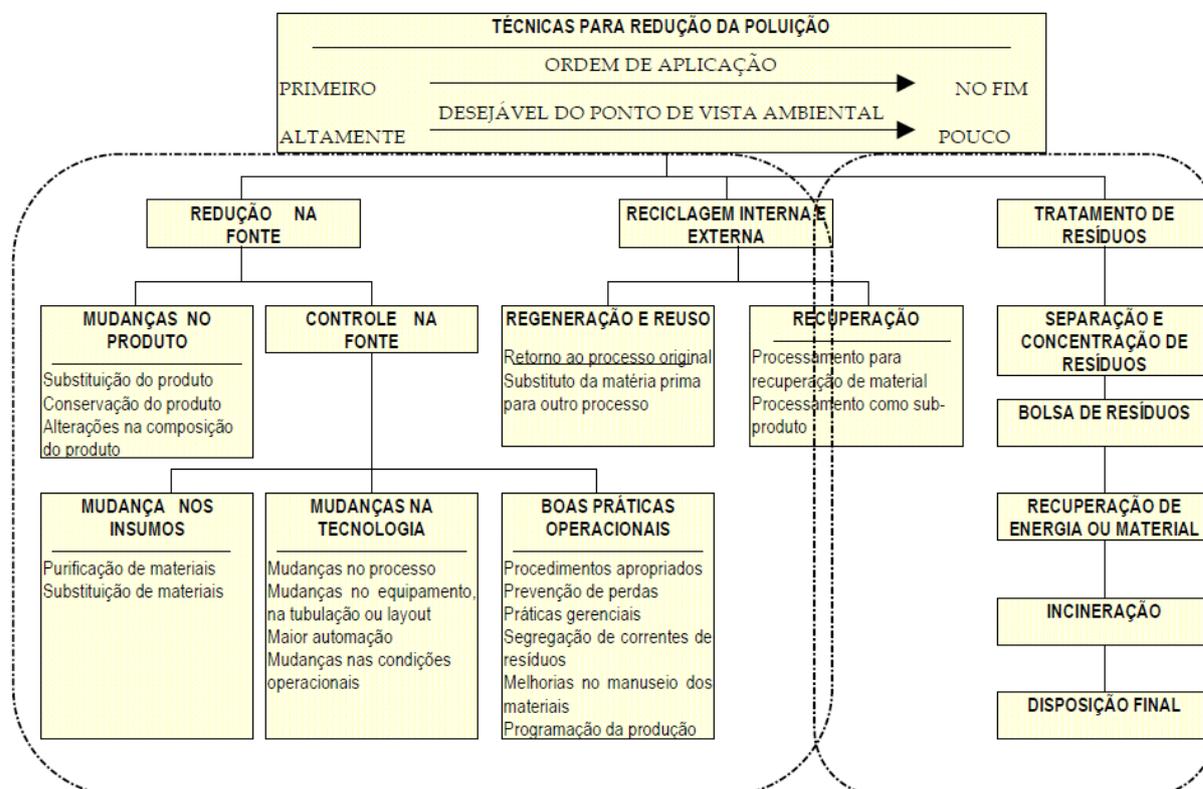
- Melhorias na operação e boas práticas operacionais;
  - Modificação no processo;
  - Mudanças na planta e nos equipamentos;
  - Substituição de matérias-primas ou insumos tóxicos; e
  - Mudança na concepção ou reformulação do produto.
- d) Tratamento de efluente, incineração, e até reciclagem externa não são considerados técnicas de Produção mais Limpa, apesar de serem ainda necessários para o alcance do baixo impacto ambiental;
- e) A Produção mais Limpa tem como vantagem econômica ser mais efetivamente econômica do que o controle da poluição. A prevenção sistemática de resíduos poluentes, aumenta a eficiência do processo e melhora a qualidade do produto. Os custos de tratamento final e disposição são minimizados através da prevenção da poluição na fonte;
- f) A vantagem ambiental da Produção mais Limpa é que ela soluciona o problema dos resíduos na sua fonte de geração. Tratamentos fins-de-tubos convencionais, na maioria das vezes, apenas desloca os poluentes de um local para outro;
- g) A lentidão da aceitação da Produção mais Limpa é principalmente devido a fatores humanos, do que a fatores técnicos;
- A abordagem de fim-de-tubo é bem conhecida e aceita pela indústria e engenheiros.
  - Políticas e regulamentações governamentais existentes, na maioria das vezes favorecem soluções de fim-de-tubo.
  - Existe uma falta de comunicação entre aqueles encarregados dos processos produtivos e aqueles que gerenciam os resíduos gerados.
  - Gestores e trabalhadores que sabem que a empresa é ineficiente e perdulária não são recompensados ao sugerir melhorias.
- h) Como a Produção mais Limpa aborda o problema em vários níveis simultaneamente, a apresentação de um programa a nível industrial requer o compromisso da alta gestão e uma abordagem sistemática para a redução de resíduos em todos os aspectos do processo produtivo.

A P+L pode atuar de diversas formas a fim de melhorar o desempenho ambiental da empresa. As alternativas apresentadas no âmbito de um programa P+L,

para atingir os objetivos propostos consistem em uma série de medidas que podem ser implementadas na empresa, compreendendo desde a adoção de boas práticas operacionais, até uma mudança de processo, ou tecnologia (COELHO, 2004).

O organograma de La Grega (1994 *apud* COELHO, 2004) pode ser utilizado como referência para a definição das técnicas de P+L a serem adotadas durante o processo de implantação da metodologia de Produção mais Limpa. Ele não só ilustra as diversas medidas que poderão ser implantadas, como as organiza de forma a orientar qual ação deve ser priorizada. Ou seja, observando-se a Figura 5 que apresenta o organograma de La Grega (1994 *apud* COELHO, 2004), as ações situadas à esquerda devem ter sua adoção priorizadas frente àquelas localizadas à direita do quadro. Dessa forma, as ações devem possuir a seguinte ordem de adoção: redução na fonte, reciclagem interna e externa, e por fim o tratamento de resíduos. Isso ocorre por que, uma vez atuando na fonte geradora do resíduo, se elimina ou reduz a geração dos resíduos de forma mais eficaz, além do custo para seu tratamento ser menor.

Figura 5 - Organograma mestre das ações para redução da poluição.



Fonte: La GREGA, 1994 *apud* COELHO, 2004.

A fim de esclarecer melhor a importância da priorização da adoção de técnicas de prevenção da poluição situadas o mais próximo possível da fonte geradora, ou seja, aquelas situadas à esquerda do organograma, as técnicas principais serão aqui descritas:

### **2.3.1 Técnicas de redução na fonte**

As técnicas de redução na fonte envolvem mudanças no produto e requerem uma visão de longo prazo por parte do empresário, mas pode resultar em uma inovação que venha a elevar a empresa a um novo patamar de competitividade e de desempenho ambiental no mercado. Um produto ambientalmente amigável, além de beneficiar a natureza, é um diferencial no mercado atualmente, uma vez que os recursos naturais estão cada dia mais escassos. Os requisitos dispostos nas legislações ambientais deixam de ser uma preocupação central da empresa na área ambiental, uma vez que ela vai além, podendo ser considerada *benchmarking* no setor em que atua.

Caso a modificação do produto não seja viável ou do interesse da empresa, deve-se pensar em oportunidades de menor complexidade, como por exemplo, *mudanças nos insumos*. Modificar apenas alguns insumos ou matérias-primas de sua composição para materiais menos tóxicos, renováveis ou recicláveis é uma boa solução para muitos casos.

Em seguida, o organograma orienta para a verificação de *mudanças na tecnologia*, que incluem: mudanças no processo, em equipamentos, tubulações, layout; maior automação e mudanças nas condições operacionais (pressão, temperatura, etc). Essas mudanças buscam tornar o processo produtivo mais eficiente, aproveitando a matéria-prima e os insumos da melhor forma possível, com mínimo de desperdício por meio de ações tecnológicas, que não dependam diretamente do fator humano.

Contudo, o fator humano pode também contribuir para a melhoria do desempenho ambiental das empresas por meio de *boas práticas operacionais*. Trata-se de medidas consideradas simples, que não demandam grandes investimentos, e têm impacto positivo no processo. Dentre elas estão: procedimentos apropriados, treinamentos, práticas gerenciais, manuseio adequado de materiais, etc.

### 2.3.2 Técnicas de reciclagem interna e externa

No bloco de técnicas de reciclagem interna e externa, conforme orientação de La Grega (1994 *apud* COELHO, 2004), *regeneração e reuso* constam de técnicas que visam o aproveitamento de um resíduo, ou efluente, diretamente em um outro processo, sem qualquer necessidade de mudanças nas suas características físicas, químicas ou biológicas.

Já a *recuperação* é um conjunto de técnicas que envolvem um custo maior, uma vez que requer adequação física, química ou biológica do resíduo (gasoso, líquido ou sólido) a fim de atender aos requisitos da etapa do processo para o qual será destinado. Dessa forma, apesar de ser mais dispendioso do que o anterior, igualmente alarga a vida útil da substância, tanto por meio da reciclagem interna (mesmo processo produtivo) quanto pela reciclagem externa.

### 2.3.3 Técnicas fim-de-tubo

As técnicas de fim-de-tubo ainda são necessárias nos casos em que os resíduos são inevitáveis. Apesar de serem as mais dispendiosas como solução ambiental, tornam-se necessárias, pois são as últimas opções a fim da empresa não agredir o ambiente além do que a legislação ambiental permite. Dessa forma, os resíduos devem ser tratados e dispostos adequadamente, por meio das seguintes técnicas:

- a) *Tratamento de Resíduos*: tratamento adequado para os resíduos a fim de atenderem aos requisitos legais e não impactarem tanto o meio ambiente no momento da emissão ou disposição final;
- b) *Separação e concentração de resíduos*: ação que visa a diminuição do volume de resíduo para facilitar o tratamento e disposição final;
- c) *Recuperação de energia ou material*: recuperar o que for viável do resíduo, seja em forma de substâncias extraídas, ou transformação em energia a fim de buscar a máxima utilidade do mesmo antes do seu descarte final;
- d) *Incineração*: incinerar o resíduo de forma a diminuir o seu volume e assim aumentar a vida útil do aterro sanitário para o qual seria destinado;

- e) *Disposição final*: última técnica sugerida, trata-se do descarte final do resíduo no meio ambiente, seja ele no aterro sanitário (resíduo sólido), em mares, rios ou lagos (efluentes) ou atmosfera (emissões gasosas).

Segundo a Unep (1996), a Produção Mais Limpa refere-se ao ideal da produção de nossos produtos e serviços com impacto ambiental mínimo, sob os atuais limites tecnológicos e econômicos. Ela reconhece que a produção não pode ser perfeitamente limpa. A realidade prática demonstra que sempre vai haver algum tipo de resíduo a partir de muitos processos e produtos obsoletos. No entanto, ela enfatiza que podemos e devemos nos esforçar para fazer melhor do que no passado, se queremos que o nosso planeta permaneça habitável.

## 2.4 FERRAMENTAS DE QUALIDADE

Em 1992 Campos afirmou que “em uma era de economia global, não é mais possível garantir a sobrevivência da empresa apenas exigindo que as pessoas façam o melhor que puderem, ou cobrando apenas resultados.” Apesar dos anos que passaram, pode-se dizer que essa afirmativa ainda é vigente nos dias de hoje. A fim de buscar o alcance dos objetivos e metas de sobrevivência da empresa, são necessários métodos que possam ser utilizados por todos (CAMPOS, 1992).

A abordagem de qualidade no sistema produtivo possui como método básico de gestão o Ciclo de Deming ou PDCA, assim como algumas ferramentas que podem ser aplicadas para operacionalizar as fases do ciclo a depender da maturidade da gestão da empresa e também da complexidade do problema. Esse conjunto abrange desde ferramentas simples e de aplicação direta àquelas mais complexas, com base em análises estatísticas utilizadas em programas de Seis Sigma (SILVA *et al*, 2012).

A Gestão de Controle Total, assim como o sistema de gestão ambiental, possui como base o ciclo do PDCA para sua implantação, e alguns de seus princípios básicos convergem com as diretrizes do sistema de gestão ambiental: gerenciar a empresa ao longo do processo e não por resultados; e procurar prevenir a origem de problemas cada vez mais próximo à sua fonte (CAMPOS, 1992). Na etapa de melhoria do sistema de gestão da qualidade, pode-se utilizar o “Método de Solução de Problemas”. Esse método possui função similar ao método da Produção mais Limpa, ao promover a melhoria de desempenho do sistema produtivo, diferindo apenas do objeto: o primeiro trata da qualidade e o segundo, do meio ambiente.

O “Método de Solução de Problemas” consta de uma análise de processo que é uma sequência de procedimentos lógicos, baseada em fatos e dados, que objetiva localizar a causa fundamental dos problemas (CAMPOS, 1992). Para isso, ele lança mão de diversas ferramentas de qualidade: gráfico de Pareto, diagramas de causa e efeito, histogramas, folhas de verificação, gráficos de dispersão, fluxogramas e cartas de controle. Ishikawa constatou que 95% dos problemas podem ser resolvidos pela aplicação das ferramentas da qualidade total, e qualquer trabalhador fabril pode efetivamente utilizá-las (BROKA & BROKA, 1994 *apud* BARRETO, 2000).

Assim como o “Método de Solução de Problemas”, e a metodologia de Produção mais Limpa, o “Seis Sigma” é um método que também atua sobre os processos com fins de melhoria no seu desempenho. O conceito Seis Sigma foi inicialmente desenvolvido e implementado pela Motorola em 1986, sendo adotado, na sequência, por outras grandes empresas como a General Electric, Texas Instrumentos, Allied e Hewlett-Packard (MORORO, 2008).

Santos e Luck (2011) afirmam que originalmente ele é um método que objetiva a redução da variabilidade e a eliminação de defeitos através de uma abordagem sistemática e disciplinada para melhoria de processos e produtos. Conforme Mororó (2008), a estratégia de aplicação do programa Seis Sigma envolve o uso de técnicas estatísticas dentro de uma metodologia estruturada, a fim de adquirir o conhecimento necessário para a obtenção de produtos ou serviços mais baratos, melhores e mais rápidos do que a concorrência. Assim, o “Seis Sigma” utiliza ferramentas de qualidade e estatísticas, enfocando a tomada de decisões em dados, buscando a quase total eliminação de defeitos em cada produto, processo ou transação (SANTOS; LUCK, 2011). Algumas das ferramentas de qualidade e estatísticas utilizadas nesse método são: matriz GUT, plano de coleta de dados, coeficiente de correlação, FMEA, DOE, plano de controle, dentre outras.

Em toda e qualquer metodologia, as ferramentas de qualidade e estatística são utilizadas conforme decisão do analista, quando julgado ser de importância e influência no trabalho (COSTA, 2012). Contudo, para assim o fazer, é necessário o conhecimento do analista das ferramentas de qualidade e estatísticas existentes para sua devida aplicação.

Dessa forma, apresenta-se em seguida uma descrição das ferramentas de qualidade e estatísticas consagradas nas metodologias citadas e ao final uma tabela-resumo das mesmas.

### 2.4.1 Gráfico de tendência

Gráfico de linha é utilizado quando se busca identificar possíveis variações de um determinado parâmetro ao longo do tempo. É uma ferramenta de fácil entendimento e de grande utilidade no estudo de problemas que possam estar relacionados à degradação de algum elemento do produto/ processo, a alterações pontuais de algum fator, mudanças de nível ou na investigação de elementos com alguma sazonalidade (SANTOS; LUCK, 2011).

### 2.4.2 5W2H

Esta ferramenta é utilizada na caracterização de problemas objetivando esclarecê-los. Seu nome é originário de palavras da língua inglesa, onde os “Ws” significam *what* (o que), *where* (onde), *who* (quem), *when* (quando) *why* (porque) e o “Hs” *how* (como) e *how much* (quanto custa) (TRINDADE *et al*, 2000 *apud* SANTOS, 2005).

### 2.4.3 Fluxograma

O fluxograma consiste na representação e inter-relação gráfica das etapas de um processo utilizando símbolos simples e de fácil entendimento.

O processo deve ser separado nas suas operações unitárias, e então relacionados conforme fluxo da produção. Para cada operação unitária são identificadas informações quanto à entrada (insumos, fornecedores), processamento e saída (produtos, subprodutos, cliente/destino). Preferencialmente ele deve ser construído por uma equipe que envolva pessoas que mais conhecem o processo. A elaboração de fluxogramas é fundamental para a padronização do processo e para alinhamento da equipe acerca do seu entendimento (CAMPOS, 1992).

### 2.4.4 Matriz GUT

A Matriz GUT é uma ferramenta utilizada para se estabelecer prioridades. A sigla GUT significa gravidade, urgência e tendência. Gravidade representa o impacto do problema analisado, caso ele venha a acontecer; urgência representa o prazo, o tempo disponível ou necessário para resolver um determinado problema; e tendência

representa o potencial de crescimento do problema ao longo do tempo (PERIARD, 2011).

Por meio desta ferramenta é possível priorizar problemas, atividades a serem desenvolvidas, projetos, etc. de forma a auxiliar na tomada de decisão.

#### **2.4.5 Gage R&R**

Santos e Luck (2011) afirmam que o objetivo do estudo de Gage R&R é identificar como a variação total do sistema de medição se compara com a variação do processo ou com a tolerância da especificação do produto. Eles também explicam que a variação do sistema de medição é composta por dois tipos de variação:

- a) *Repetitividade* - variação entre medições de um parâmetro obtidas por um mesmo operador utilizando o mesmo instrumento e método;
- b) *Reprodutibilidade* - variação entre as médias das medições de um parâmetro realizadas por mais de um operador usando o mesmo instrumento e método.

Dessa forma, por meio do estudo de Gage R&R é possível revelar se uma ferramenta é consistente e realçar diferenças entre operadores, afim de garantir a confiança das medições realizadas (MSS, 2014).

#### **2.4.6 Diagrama de Ishikawa**

Também denominado de “espinha de peixe”, ele é uma ferramenta utilizada para representar de forma esquemática a relação de causas e efeitos, com o objetivo de identificar as causas mais prováveis de um determinado problema. Sempre que algo ocorre (efeito, fim, resultado) existe um conjunto de causas que pode ter influenciado (CAMPOS, 1992). Assim, para levantar as causas que estão influenciando o resultado indesejável do processo, deve-se fazer uma reunião com o grupo envolvido utilizando a técnica “*brainstorming*” para obter o máximo possível de ideias (WERKEMA, 1995b *apud* SANTOS, 2005).

### **2.4.7 Brainstorming**

*Brainstorming* significa “tempestade de ideias”, ou seja, é uma técnica praticada por um grupo de pessoas que sugerem ideias sobre um determinado tema, com um objetivo específico, num curto espaço de tempo.

Segundo a Unep (1996), as sessões de *brainstorming* é uma combinação de criatividade e senso comum. As ideias são listadas à medida que vão surgindo devendo ser escritas com as mesmas palavras utilizadas pelo proponente (TRINDADE *et al*, 2000; WERKEMA, 1995a; OAKLAND, 1994 *apud* SANTOS, 2005).

### **2.4.8 Folha de verificação**

A folha de verificação é uma ferramenta utilizada para facilitar a coleta de dados de forma organizada, transformando opiniões em fatos. A partir da coleta de dados é possível se efetuar análises quantitativas que fornecerão as informações necessárias à tomada de decisão.

Antes de iniciar a coleta de dados deve-se preparar a folha de verificação, sendo esta elaborada de forma clara, concisa e mais completa possível para evitar erros provindos das pessoas que venham a trabalhar na coleta de dados (TRINDADE *et al*, 2000; BRASSARD, 1994 *apud* SANTOS, 2005).

Dessa forma, ela deve incluir os seguintes itens: identificar o responsável pela coleta (quem), a variável que está sendo medida (o que), o local da medição (onde), o método da medição (como), a frequência que será feita (quando) e quantos pontos serão coletados por amostra (quanto) (SANTOS; LUCK, 2011).

### **2.4.9 Análise de Pareto**

A Análise de Pareto é uma técnica universal para separar os problemas em duas classes: os *poucos vitais* e os *muito triviais* (CAMPOS, 1992). Os poucos vitais representam um pequeno número de problemas, mas que resultam em grandes perdas para empresa. Os muito triviais, de extensa lista de problemas com perdas pouco significativas (SANTOS, 2005). O princípio sugere que na maioria das situações poucas categorias de problemas (aproximadamente 20%) irão representar as maiores oportunidades de melhoria (80%) (SANTOS; LUCK, 2011).

Para se realizar a Análise de Pareto, inicialmente se identifica um problema decorrente de um “resultado indesejável”. À medida que o problema inicial for sendo dividido (estratificado) em outros problemas menores, estes são mensurados e em seguida priorizados para nova estratificação e mensuração, até se alcançar problemas específicos. A estratificação seguida da coleta de dados e a visualização gráfica apresentada no Diagrama de Pareto permitem priorizar quantitativamente os itens mais importantes (CAMPOS, 1992).

#### **2.4.10 Histograma**

Trata-se de um gráfico de barras que visa apresentar a distribuição das frequências de uma variável.

Montgomery (2002) afirma que quando o tamanho da amostra é grande, o histograma pode fornecer um indicador razoavelmente confiável da forma geral da distribuição de medições, que pode ser: simétrica, unimodal e assimétrica. A forma do histograma traz informações referente à média, mediana e moda dos dados da amostra (MONTGOMERY, 2002).

#### **2.4.11 Box-Plot**

Segundo Santos e Luck (2011), trata-se de um gráfico de avaliação “estática” dos dados que permite termos uma ideia de como os dados estão distribuídos, assim como dos valores atípicos (*outliers*). Ele utiliza cinco medidas estatísticas do conjunto de dados para sua construção: mínimo, máximo, mediana, primeiro quartil, e terceiro quartil. Segundo Medeiros (2014), o conjunto destas medidas fornece evidência acerca da posição, dispersão, assimetria e valores atípicos do conjunto de dados. Santos e Luck (2011) afirmam que esses gráficos são muito utilizados em comparações entre duas amostras de uma população, mas frequentemente as conclusões obtidas com box-plots precisam ser confirmadas analiticamente.

#### **2.4.12 Gráfico de dispersão**

Gráfico de análise estática que representa o que acontece com uma variável (saída) quando a outra (entrada) se altera.

Trata-se do passo inicial para analisar a existência ou não de uma relação entre as variáveis representadas. São também bastante utilizados quando pelo menos uma das variáveis apresenta variação apreciável (SANTOS; LUCK, 2011).

#### **2.4.13 Coeficiente de Pearson**

O coeficiente de Pearson expressa quão forte e qual o sentido da relação linear entre duas variáveis (SANTOS; LUCK, 2011). Uma correlação positiva significa que quando aumentamos o valor de uma variável a outra também aumenta. Uma correlação negativa significa que quando aumentamos o valor de uma variável, o valor da outra diminui.

Figueiredo Filho e Silva Junior (2009) afirmam que uma análise de *outliers* é importante, uma vez que o coeficiente de Pearson é fortemente afetado pela presença deles.

#### **2.4.14 Regressão**

Trata-se de um método de modelamento matemático que visa verificar a relação entre duas ou mais variáveis, analisando como o comportamento da variável de saída ( $y$ ) pode ser influenciada a partir da variável de entrada ( $x$ ). Os modelos de regressão podem ser construídos com os objetivos de (PSA, 2014):

- a) Predição: uso do modelo para obter valores de  $y$  correspondentes a valores de  $x$  que não estão entre os dados;
- b) Seleção de variáveis: seleção de variáveis  $x$ , dentre as estudadas, eliminando aquelas cuja contribuição para  $y$  não sejam importantes;
- c) Inferência: realização de inferência sobre os parâmetros estudados, tais como testes de hipóteses e intervalos de confiança.

A construção dos modelos de regressão normalmente é feita a partir de um gráfico de dispersão dos dados: variável de entrada ( $x$ ) e variável de saída ( $y$ ). Verifica-se então qual tipo de curva e equação matemática se aproxima mais dos pontos representados no gráfico, descrevendo o comportamento de  $y$  frente à variação de  $x$ .

Esse comportamento pode se apresentar de diversas formas (PETERNELLI, 2014): linear, quadrático, cúbico, exponencial, logarítmico, etc. A regressão pode ser também classificada a partir do número de variáveis de entrada, a variável de saída é

dependente, se apenas uma – regressão simples -, ou mais de uma – regressão múltipla (SANTOS e LUCK, 2011).

#### **2.4.15 DOE**

DOE significa “Design of Experiments”, cuja tradução para o português é “planejamento de experimentos”. Trata-se de um termo geral para designar o conjunto de técnicas utilizadas para experimentação sistemática (NETO, 2010 *apud* COSTA, 2012), onde são realizadas alterações propositais nas variáveis de entrada de um processo, de modo que se possa avaliar as possíveis alterações sofridas pelas variáveis de saída, como também as razões dessas alterações (PSA, 2014).

Alguns objetivos de um experimento planejado são (PSA, 2014): redução da variação do processo e melhor concordância entre os valores obtidos e os valores pretendidos; redução do tempo do processo; redução do custo operacional; e otimização do processo.

Existem diversos tipos de DOE. Silva e Sant’Anna (2007) recomendam inicialmente o uso de *Screening* quando o número de variáveis de entrada é maior ou igual a seis, uma vez que objetiva distinguir as variáveis de entrada mais importantes das triviais. Em seguida a realização do *Modelling*, uma vez que é o tipo indicado para a validação de processos, por gerar uma equação de previsão, que pode ser usada para alcançar a resposta desejada. A combinação de uma etapa de *Screening* com uma etapa de *Modelling* permite combinar a análise exploratória com a análise confirmatória (SILVA; SANT’ANNA, 2007).

O planejamento experimental permite eficiência e economia no processo experimental, e o uso de métodos estatísticos na análise dos dados obtidos resulta em objetividade científica nas conclusões (PSA, 2014).

#### **2.4.16 Teste de hipótese**

O teste de hipótese é um processo que conduz a uma decisão sobre uma hipótese particular. Segundo Montgomery (2002), ele se baseia no uso de informações em uma amostra aleatória a partir da população de interesse. Se esta informação é consistente com a hipótese, conclui-se que a hipótese é verdadeira; caso contrário, considera-se ela falsa.

O teste de hipótese é um método utilizado na etapa de análise dos dados de um experimento comparativo (MONTGOMERY, 2002). Ele possui dois objetivos principais: estabelecer relações entre variáveis de entrada e saída, e validar estatisticamente as melhorias implementadas (SANTOS; LUCK, 2011).

Montgomery (2002) recomenda os seguintes passos na realização do teste de hipóteses:

- a) Identificar a variável de interesse;
- b) Definir a hipótese nula ( $H_0$ );
- c) Especificar a hipótese alternativa ( $H_1$ );
- d) Escolher o nível de confiança  $\alpha$ ;
- e) Determinar um teste estatístico;
- f) Definir uma região de rejeição para a estatística;
- g) Computar quantidades necessárias da amostra, substituí-los na equação do teste estatístico, e calcular o valor;
- h) Decidir se  $H_0$  deve ou não ser rejeitada.

Existem quatro resultados possíveis ao se executar um teste de hipótese, conforme apresentado no Quadro 1 (SANTOS; LUCK, 2011).

Quadro 1 - Resultados possíveis de um teste de hipótese.

<b>Decisão</b>	<b><math>H_0</math> verdadeira</b>	<b><math>H_0</math> falsa</b>
Não rejeitar $H_0$	Correto	Erro tipo II
Rejeitar $H_0$	Erro tipo I	Correto

Fonte: Santos; Luck, 2011.

Hipótese nula ( $H_0$ ) é a hipótese que se deseja testar. Montgomery (2002) esclarece que geralmente o analista controla a probabilidade de ocorrência do erro tipo I quando ele seleciona os valores críticos, que delimita a região aceitável para  $H_0$ , ou seja, o intervalo de confiança que compõe  $H_0$  - estimativa de intervalo de valores de alta confiança para um determinado parâmetro populacional. Uma vez que o analista pode controlar diretamente a probabilidade de erroneamente rejeitar  $H_0$ , acredita-se que a rejeição da hipótese nula ( $H_0$ ) é uma boa conclusão.

Assim, realizar o teste de hipóteses envolve tomar uma amostra aleatória, realizar um teste estatístico a partir dos dados da amostra, e em seguida, usar o teste estatístico para tomar uma decisão sobre a hipótese nula (MONTGOMERY, 2002).

#### 2.4.17 FMEA

FMEA significa em inglês “Failure Mode and Effect Analysis”, cuja tradução para português é “Análise de Modos de Falha e seus Efeitos”. Ele tem como objetivos (SANTOS; LUCK, 2011):

- a) Identificar os potenciais modos de falha de produtos, processos ou procedimentos;
- b) Avaliar os possíveis efeitos e identificar as possíveis causas dos modos de falha identificados;
- c) Priorizar os itens acima para estabelecer ações que visem mitigar ou eliminar a ocorrência das causas dos modos de falha identificados, assim como seus efeitos.

FMEA é uma técnica que aprimora a confiabilidade de processos, produtos e serviços, uma vez que reduz a probabilidade de ocorrência de falhas. Ele tem como base a prática do *brainstorming* em equipe multidisciplinar que detenha amplo conhecimento do produto, processo ou equipamento para definir as causas e os efeitos dos modos de falha identificados (MCCAIN, 2006 *apud* CURTIVO, 2011). As causas dos modos de falha são então priorizadas por meio da análise da (FOGLIATTO, 2014):

- a) Ocorrência: frequência de incidência da falha;
- b) Severidade: gravidade do efeito provocado pela falha;
- c) Detecção: capacidade de detectar a falha antes que chegue no usuário.

Como resultado dessa análise é gerado um índice de prioridade que auxilia na priorização das causas de modos de falha a serem tratadas por meio de ações para mitigar ou eliminar sua ocorrência, assim como seus efeitos.

Por meio desta técnica também é possível embasar o emprego de dispositivos à prova de erro de modo a prevenir a ocorrência da falha (VILLELA, 2004).

#### 2.4.18 Matriz de decisão

A matriz de decisão auxilia à tomada de decisão por meio da apresentação de uma série de propostas com relação aos  $n$  critérios de avaliação (CAMPOS; ALMEIDA, 2006). Ela é uma ferramenta simples, porém possui um certo índice de subjetividade, logo deve ser considerada com parcimônia (AQG, 2013).

#### 2.4.19 CEP

CEP (controle estatístico de processos) é um conjunto de ferramentas de monitoramento, controle e melhoria na qualidade dos processos através de análises estatísticas (DE VRIES, RENEAU, 2010 *apud* TAKAHASHI, 2011). Segundo Takahashi (2011), os processos sob a perspectiva do CEP são influenciados por dois tipos de variação: comum e especial.

A variação comum é representada por variações pequenas, inevitáveis e resultantes de fatores naturais ao processo, que são dificilmente rastreáveis. Já a variação especial é caracterizada por alterações de fácil identificação, responsáveis por uma mudança real no processo, como por exemplo, alterações em: materiais, pessoas, máquinas, meio ambiente ou método utilizado (TAKAHASHI, 2011).

Takahashi (2011) afirma que a principal ferramenta empregada pelo CEP é o gráfico de controle, que usualmente monitora uma variável de qualidade ao longo do tempo, tanto pelo seu valor médio, quanto pela sua variabilidade. Santos (2005) afirma que a influência das causas especiais no processo, faz com que ele se apresente fora de controle estatístico, ou seja, com uma variabilidade maior do que a natural.

Os limites de controle representam a variação do processo e são calculados, principalmente a partir do desvio padrão e da amplitude das informações (RENEAU, 2000 *apud* TAKAHASHI, 2011). Estes limites são definidos de modo que, se o processo está controlado (ausência de causas especiais), praticamente todos os pontos amostrais estão entre eles. Dessa forma, Curtivo (2011) afirma que o gráfico de controle constitui ferramenta eficiente para melhoria da produtividade.

#### 2.4.20 Poka-yoke

Segundo Villela (2004), poka-yoke ou dispositivos à prova de erro é um conceito gerencial de qualidade para evitar erros humanos numa linha de produção.

Existem três tipos de dispositivos poka-yoke (VILLELA, 2004):

- a) Dispositivos que evitam o defeito antes que ocorram;
- b) Inspeção 100% dos defeitos utilizando um dispositivo sensorial, tal como um sistema de inspeção com descarte automático dos itens defeituosos;
- c) Dispositivos que param automaticamente uma máquina, equipamento, etc quando um defeito é detectado.

Quadro 2 - Relação das ferramentas de qualidade e estatística estudadas.

Nº	Ferramenta/ técnica	Objetivo
1	Gráfico de tendência	Identificar possíveis variações de um determinado parâmetro ao longo do tempo
2	5W2H	Caracterizar problemas para seu esclarecimento
3	Fluxograma	Representar graficamente as etapas de um processo utilizando simbologia simples
4	Matriz GUT	Estabelecer prioridades entre problemas, projetos, etc
5	Gage R&R	Comparar a variação do sistema de medição com a variação do processo ou tolerância da especificação.
6	Diagrama de Ishikawa	Representar de forma esquemática a relação de causas e efeitos
7	Brainstorming	Levantar ideias a partir de um grupo de pessoas sobre um tema específico
8	Folha de verificação	Coletar dados de forma organizada e estruturada
9	Análise de Pareto	Separar os problemas vitais (poucos) dos triviais (muitos)
10	Histograma	Apresentar a distribuição das frequências de uma variável
11	Box-Plot	Avaliar estaticamente os dados quanto à sua distribuição, e valores atípicos ( <i>outliers</i> )
12	Gráfico de dispersão	Representar o comportamento de uma variável de saída, quando a variável de entrada se altera.
13	Coeficiente de Pearson	Expressar a força e o sentido da relação linear entre duas variáveis
14	Regressão	Verificar a relação de duas ou mais variáveis por meio de modelamento matemático
15	DOE	Avaliar alterações da variável de saída conforme a inserção de valores programados da variável de entrada por meio de experimentos.
16	Teste de hipótese	Validar estatisticamente melhorias implantadas no processo
17	FMEA	Avaliar os possíveis efeitos e identificar as possíveis causas dos modos de falhas
18	Matriz de decisão	Auxiliar na tomada de decisão entre várias alternativas
19	CEP	Monitorar e controlar uma variável ao longo do tempo, pelo seu valor médio e variabilidade.
20	Poka-Yoke	Evitar erros humanos numa linha de produção

Fonte: Elaboração própria.

Após o estudo das várias ferramentas de qualidade e estatísticas, muitas delas amplamente conhecidas pelo setor empresarial, é importante ressaltar que de nada adianta conhecer várias ferramentas se o método não é dominado (CAMPOS, 1992). Dessa forma, faz-se necessário o estudo detalhado do método a ser praticado, a fim de se conhecer a sequência lógica por ele orientada afim de poder atingir as metas almeçadas.

### 3 OBJETIVO

Este estudo possui como objetivo geral elaborar uma proposta de melhoria da metodologia de Produção mais Limpa utilizada pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas, por meio da inserção de ferramentas de qualidade e estatística.

#### 3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar as etapas de implantação da metodologia de P+L do Centro Nacional de Tecnologias Limpas buscando pontos passíveis de melhorias;
- b) Analisar e selecionar as ferramentas de qualidade e estatística que podem contribuir na melhoria da metodologia de P+L do CNTL;
- c) Propor a inserção das ferramentas de qualidade e estatística na metodologia de P+L do CNTL.

#### 4 METODOLOGIA

Segundo Silva (2005), um trabalho científico pode ser classificado de diversas formas, quanto à sua natureza, forma de abordagem, objetivos e procedimentos técnicos. O presente trabalho possui uma natureza básica, pois “objetiva gerar conhecimentos novos úteis para o avanço da ciência sem aplicação prática prevista”. Ele possui uma forma de abordagem qualitativa, uma vez que “parte de questões ou focos de interesses amplos, que vão se definindo na medida que o estudo se desenvolve” (GODOY, 1995a *apud* SILVA JUNIOR, 2007). Quanto aos seus objetivos, trata-se de uma pesquisa exploratória, pois “visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torna-lo explícito ou a construir hipóteses” (GIL, 1991 *apud* SILVA, 2005).

Os parágrafos seguintes descrevem como o presente projeto foi desenvolvido a fim de se alcançar cada um dos objetivos específicos, e conseqüentemente o objetivo geral.

O primeiro objetivo específico compreende a análise das etapas de implantação da metodologia de P+L do CNTL buscando pontos passíveis de melhoria. A fim de atingir esse objetivo buscou-se analisar as etapas desta metodologia por meio do estudo de seus objetivo e descrição respectivos apresentados pelo CNTL. Atentou-se sobre as possíveis lacunas existentes nas etapas, por meio de procedimentos deficientes ou ausências de técnicas que pudessem justificar o uso de alguma ferramenta de qualidade ou estatística nelas.

O segundo objetivo específico refere-se à análise e seleção das ferramentas de qualidade e estatística que podem contribuir na melhoria da metodologia de P+L do CNTL. Para se atingir esse objetivo, um estudo de diversas ferramentas de qualidade e estatística foi realizado por meio da revisão bibliográfica, a partir do qual obteve-se o conhecimento necessário para entender qual o objetivo e a forma de aplicação de cada ferramenta estudada. A revisão bibliográfica é o meio pelo qual o pesquisador pode realizar um mapeamento dos conhecimentos na área de interesse a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos, e atualmente com material disponibilizado na Internet (CAPPARELLI, 2010; GIL, 1991 *apud* SILVA, 2005). A pesquisa bibliográfica foi realizada por meio de consultas a bases de dados nacionais e internacionais.

O último objetivo específico busca propor a inserção das ferramentas de qualidade e estatística na metodologia de P+L do CNTL. Para este fim, foi realizada uma comparação do uso das ferramentas de qualidade e estatística estudadas em outras metodologias cujo objetivo macro assemelham-se ao da Produção mais Limpa. As metodologias que serviram como base de comparação para esta proposta foram: o Método de Solução de Problemas e a Metodologia Seis Sigma. Apesar delas apresentarem focos diferentes da metodologia de P+L, elas possuem o objetivo macro em comum de otimizar processos produtivos. Assim, foi possível sugerir o uso das ferramentas de qualidade e estatística estudadas na metodologia de P+L do CNTL, esclarecendo sobre as possíveis adaptações necessárias quanto ao foco ambiental. Ao final da proposta, um quadro conceitual foi elaborado sintetizando as etapas da metodologia de P+L do CNTL e suas respectivas ferramentas de qualidade e estatística sugeridas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A metodologia de Produção mais Limpa desenvolvida pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) será descrita de acordo com o documento intitulado “Cinco Fases da Implantação de Técnicas de Produção mais Limpa” produzido pelo CNTL, sediado no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai), diretório regional do Rio Grande do Sul em 2003. Este documento será denominado doravante documento-base.

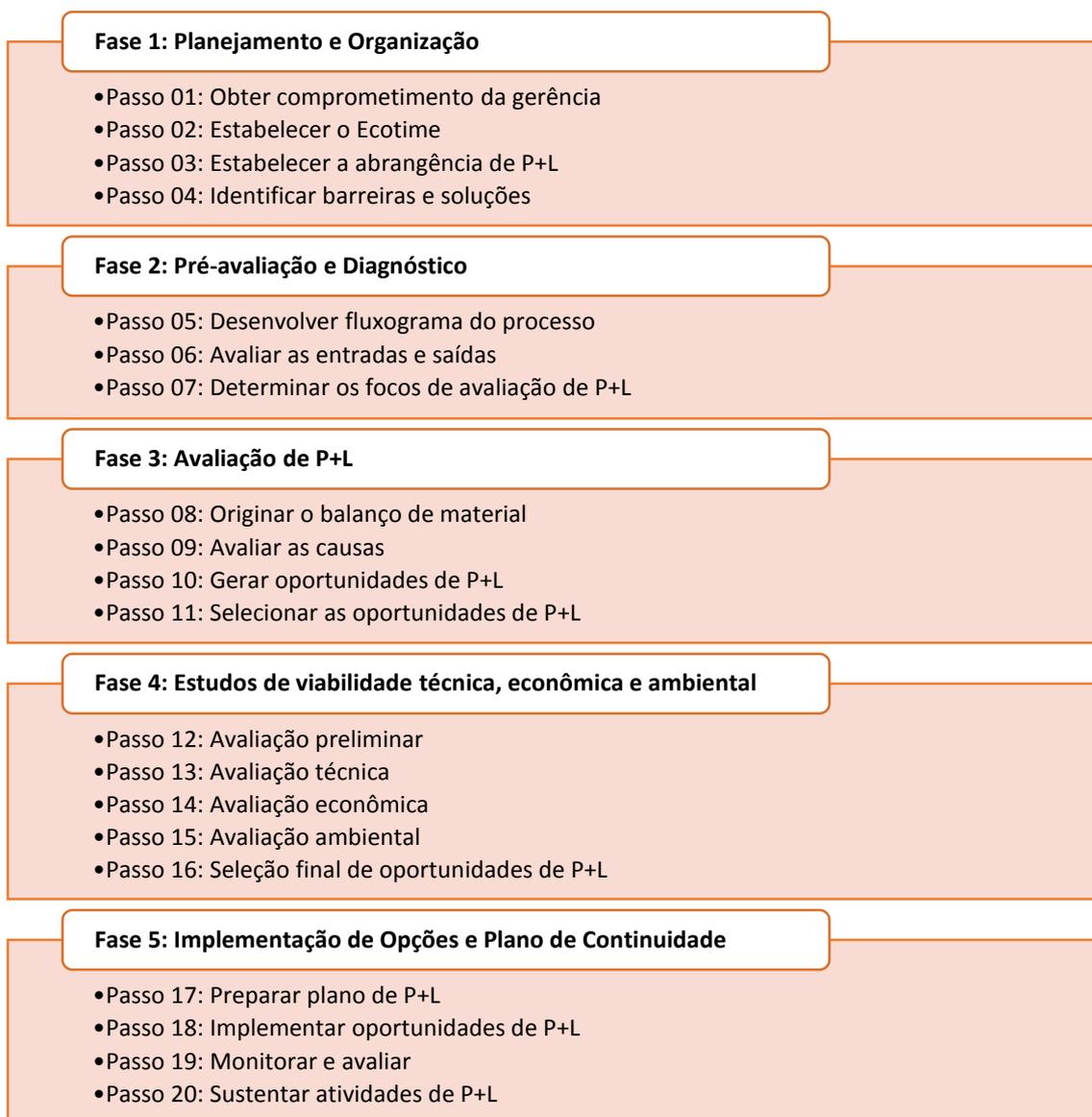
Quando uma empresa decide por implantar a metodologia de P+L, ela visa os benefícios ambientais, sociais e econômicos que esta pode gerar. Dessa forma, apesar da importância do envolvimento do setor responsável pelo meio ambiente na implantação da metodologia de P+L, para ela ter sucesso e gerar os resultados positivos pretendidos, todas as pessoas convocadas precisam estar empenhadas neste objetivo comum.

Segundo CNTL, o programa de produção mais limpa é um conjunto abrangente de atividades organizacionais, administrativas e de planejamento que objetiva intensificar a abordagem de produção mais limpa em toda a empresa. Ele afirma que o desenvolvimento de ações de prevenção só pode ocorrer quando está claro quais são os problemas a serem tratados, e que estes podem focar um processo, unidade de operação ou atividade diferentes da empresa. Enfatiza-se que periodicamente o programa de produção mais limpa deve ser revisado e avaliado quanto aos alcances dos objetivos traçados e à execução das atividades propostas (SENAI.RS, 2003).

A avaliação de P+L, assim como o SGA, também segue a estrutura do ciclo PDCA para fins de melhoria contínua. Dessa forma, os passos que compõem cada etapa do ciclo serão apontados ao longo da descrição da metodologia de P+L para uma melhor compreensão.

A metodologia de Produção mais Limpa do CNTL, se divide em cinco fases, que são compostas pelas seguintes ações apresentadas na Figura 6.

Figura 6 – Etapas da metodologia de P+L do CNTL.



Fonte: adaptado de SENAI.RS, 2003.

No documento-base, o CNTL apresenta uma ordem de fases e passos da metodologia de P+L para fins de implementação, contudo ressalta que os passos podem ser percorridos de maneira flexível e criativa, e não se deve hesitar em mudar sua ordem ou em ajustá-los caso se julgue adequado. Contudo, para a realização deste trabalho, a ordem sugerida pelo CNTL será mantida. A seguir, apresenta-se um resumo descritivo da metodologia do CNTL com as sugestões de uso das ferramentas de qualidade e estatística.

## 5.1 PASSO 01: OBTER O COMPROMETIMENTO DA GERÊNCIA

Segundo o CNTL, o objetivo deste passo é receber apoio da gerência da empresa para a avaliação da produção mais limpa, uma vez que, segundo ele, sem este comprometimento não há verdadeira ação e, conseqüentemente, não há resultado. A Unep (1996) afirma que o aceite da implantação da metodologia de Produção mais Limpa pela alta direção na empresa ocorre normalmente após um processo de sensibilização, no qual o conceito de Produção mais Limpa é apresentado, juntamente com suas vantagens econômicas e ambientais.

O documento-base orienta que este objetivo seja alcançado por meio das seguintes ações:

- a) Envolver a gerência na tomada de decisões;
- b) Manter a gerência informada sobre o processo de avaliação de P+L;
- c) Tornar os benefícios econômicos, ambientais e sociais visíveis; e
- d) Comprometer-se com o sucesso da Avaliação de Produção mais Limpa.

Contudo, a Unep (1996) afirma que todos os envolvidos precisam estar comprometidos nesse processo: trabalhadores ligados à produção, distribuição ou consumo de produtos e serviços industriais são grandes contribuintes deste processo; operadores de máquinas podem prestar mais atenção ao processo de otimização, limpeza e manipulação de produtos químicos seguros; e os gerentes precisam dar aos trabalhadores incentivos para reduzir o desperdício.

Esse passo é o primeiro que compõe a etapa *Plan* (P) do Ciclo PDCA.

## 5.2 PASSO 02: ESTABELEECER O ECOTIME

O objetivo deste passo, segundo o CNTL, é organizar o Ecotime que conduzirá a avaliação de Produção mais Limpa. Uma vez que a avaliação de P+L pode influenciar vários aspectos da produção, ele orienta que seja formado um Ecotime bem equilibrado, com profissionais que tenham conhecimento sobre todos os setores da empresa e seus processos produtivos. A Unep (1996) enfatiza a importância da multidisciplinaridade dos componentes da equipe, uma vez que isso proporcionará pontos-de-vista diversos sobre cada situação a ser trabalhada pela equipe. O CNTL afirma que a composição adequada da equipe depende do tamanho e da estrutura organizacional da empresa. A Unep (1996) orienta que a metodologia de P+L seja

apresentada ao Ecotime, por meio da descrição de cada etapa, assim como suas metas respectivas.

O documento-base apresenta uma série de responsabilidades para cada membro da equipe, assim como algumas tarefas que o Ecotime deve desempenhar:

- a) Analisar e rever as práticas atuais (conhecimento);
- b) Desenvolver e avaliar mudanças (criatividade); e
- c) Implementar e manter as mudanças (autoridade).

### 5.3 PASSO 03: ESTABELEECER A ABRANGÊNCIA DE P+L

Segundo o CNTL, o objetivo deste passo é estabelecer metas amplas de produção mais limpa na empresa, que funcionarão como orientação para avaliação de P+L. As metas deverão ser aperfeiçoadas à medida que o Ecotime adquirir uma visão mais ampla das possibilidades para produção mais limpa na empresa, evoluindo de diretivas de qualidade para objetivos quantificáveis (SENAI.RS, 2003). Ele orienta ainda que as metas devem ser:

- a) Aceitáveis para aqueles que trabalharão para atingi-las;
- b) Flexíveis e adaptáveis a necessidades variáveis;
- c) Mensuráveis no decurso do tempo do programa;
- d) Motivadoras;
- e) Adequadas à declaração da política da gerência;
- f) Compreensíveis no nível prático dos esforços.

O CNTL afirma que com base nos objetivos de curto e longo prazo, o Ecotime deve fazer um planejamento incluindo um programa de execução das atividades, uma divisão de responsabilidades e previsão de uma data para a conclusão do projeto de implantação da P+L.

#### *Sugestão de melhoria – passo 03*

Para o estabelecimento das metas, indica-se o uso do Gráfico de Tendência para indicadores que possuam algum histórico de medição. Por meio deste gráfico é possível acompanhar ao longo do tempo a evolução de um determinado indicador ambiental, e analisá-lo de forma a determinar uma meta que seja praticável, com base na legislação ambiental, *benchmarking*, ou outros.

Já para se elaborar um programa de execução das atividades, a ferramenta de qualidade que poderá ser utilizada é o 5W1H. Por meio dela, é possível identificar,

para cada ação planejada (*what*): a razão dela ser executada (*why*), o local onde será executada (*where*), o prazo para sua execução (*when*), a pessoa responsável (*who*), e o método de execução (*how*).

#### 5.4 PASSO 04: IDENTIFICAR BARREIRAS E SOLUÇÕES

Segundo o CNTL, este passo objetiva identificar e superar as barreiras que possam impedir ou retardar a execução da Avaliação de Produção mais Limpa. O CNTL apresenta uma relação dos tipos de barreiras que pode surgir, assim como possíveis soluções; as barreiras podem ser do tipo: organizacionais, sistêmicas, técnicas, econômicas, comportamentais, governamentais, além de outras.

O CNTL afirma que as barreiras de Produção mais Limpa podem causar conflitos dentro da empresa e ameaçar o progresso da avaliação de P+L, e por conta disso, o Ecotime deve ter consciência delas e encontrar soluções para superá-las.

##### *Sugestão de melhoria – passo 04*

A fim de se estruturar melhor a coleta de ideias para identificação e superação de cada tipo de barreira analisada, recomenda-se o uso da técnica de brainstorming.

#### 5.5 PASSO 05: DESENVOLVER FLUXOGRAMA DE PROCESSO

O CNTL afirma que este passo objetiva desenvolver um fluxograma do processo, descrevendo toda a instalação e mostrando todos as etapas por que passam as matérias-primas até formar o produto. O Ecotime deve familiarizar-se com os processos de fabricação, incluindo as instalações de armazenagem, utilitários, instalações para tratamento e disposição de resíduos (SENAI.RS, 2003).

Inicialmente o Ecotime deve realizar um levantamento documental sobre a planta a fim de obter informações úteis indicando áreas de interesse e também lacunas onde não há dados disponíveis. Em seguida, deve-se fazer uma caminhada pela empresa, que nada mais é do que uma visita ao chão de fábrica, através da qual o Ecotime obtém familiaridade com a planta e as unidades de operação. Por fim, passo-chave na análise global segundo o CNTL, o fluxograma de processo detalhado deve ser elaborado listando e caracterizando as correntes de entradas e saídas, não se esquecendo de considerar as correntes de reciclagem.

Segundo a Unep (1996), um fluxograma do processo produtivo nada mais é do

que um diagrama de blocos em que cada operação unitária é representada por um bloco, e a interação entre elas é representada por setas. Santos e Luck (2011) afirmam que esta ferramenta auxilia na identificação de ineficiências: gargalos, fábricas ocultas (loops, retrabalhos, redundâncias) e operações não padronizadas.

O CNTL afirma que um conhecimento da instalação da planta como um todo pode oferecer ao Ecotime informações adequadas para determinar quantos processos independentes e unidades de operação existem e quais deles são potenciais para a definição dos focos da avaliação de P+L.

#### 5.6 PASSO 06: AVALIAR AS ENTRADAS E SAÍDAS.

Conforme o CNTL, este passo objetiva determinar com base no “senso comum”, se as quantidades de entradas resultam em uma quantidade razoável de saídas. Durante esta etapa faz-se uma estimativa bruta das quantidades de matérias-primas, auxiliares, produtos, subprodutos, energia, resíduos e emissões consumidos e produzidos por cada processo ou unidade de operação (SENAI.RS, 2003). Os resultados desta avaliação são também úteis para a definição dos focos da Avaliação de Produção mais Limpa.

#### 5.7 PASSO 07: DETERMINAR FOCOS DE AVALIAÇÃO DE P+L

Esse passo objetiva determinar os focos para a avaliação de Produção mais Limpa com base nos resultados dos passos 5 e 6 (SENAI.RS, 2003). O CNTL afirma que em princípio, todos os processos e unidades de operação podem ser candidatos ao foco da avaliação de P+L. Contudo, por razões de praticidade, uma seleção de processos e unidades de operação deve ser feita por meio de uma lista de critérios a fim de determinar os focos de avaliação (SENAI.RS, 2003). Alguns critérios para a determinação dos focos de avaliação de P+L são: custos das matérias-primas, consumo de energia, periculosidade, quantidade gerada de resíduos e emissões, dentre outros.

##### *Sugestão de melhoria – passo 07*

Aliado a esses critérios, sugere-se o uso da matriz GUT como ferramenta de qualidade para execução deste passo. Como citado anteriormente, esta ferramenta visa a priorização de problemas de forma a auxiliar na tomada de decisão. Sua

construção é feita por meio da listagem dos problemas potenciais identificados nos dois passos anteriores, e em seguida realiza-se uma classificação considerando seu grau de gravidade, urgência e tendência conforme Quadro 3.

O produto dos valores da gravidade, urgência e tendência resulta em um número geral para cada problema. Assim, indica-se que os problemas que apresentem os maiores resultados sejam priorizados.

Quadro 3 - Critérios da matriz GUT.

Grau	Gravidade	Urgência	Tendência
	<i>Nível de impacto ambiental gerado</i>	<i>Custo do material consumido/ tratamento e disposição do resíduo gerado</i>	<i>Volume do material consumido/ resíduo gerado</i>
1	Impacto baixo	Custo baixo	Diminuindo
3	Impacto moderado	Custo moderado	Estável
5	Impacto alto	Custo alto	Aumentando

Fonte: adaptado de SILVA *et al*, 2013.

Comparando a urgência com os graus de severidade dos aspectos e impactos ambientais (AIA) de Seiffert (2009 *apud* GABRIEL, TRINDADE E ARAÚJO, 2012), pode-se dizer que ela pode se desdobrar em:

- a) Grau 1: AIA não infringem leis, nem causam prejuízo aos clientes;
- b) Grau 2: AIA causam prejuízo material aos clientes e comprometem políticas da empresa;
- c) Grau 3: AIA infringem leis ou causam risco à integridade física das pessoas.

## 5.8 PASSO 08: ORIGINAR O BALANÇO DE MATERIAL

Segundo o CNTL, este passo visa considerar o uso de matérias-primas, auxiliares e energia que entram e saem dos processos que compõem os focos de avaliação de P+L estabelecidos no passo anterior. Um balanço de material permite a identificação e a quantificação material e financeira das perdas ou emissões a partir do fluxograma de processo, assim como análise das possíveis fontes e causas da geração dos resíduos e emissões (SENAI.RS, 2003).

O documento-base apresenta uma explanação sobre como é realizado o balanço de material. Inicialmente imagina-se a unidade de operação como se

estivesse rodeada por uma caixa imaginária. Considera-se, então, todos os materiais que entram na caixa (matérias-primas, insumos, auxiliares, água, energia) e saem da caixa (produtos, subprodutos, resíduos, efluentes e emissões) durante o período estabelecido para o cálculo do balanço de material. Ao final do período, mede-se a quantidade de material acumulado na unidade de operação. Assim, as entradas computadas devem igualar-se às saídas mais à acumulação na unidade de operação. Os balanços de material são mais fáceis, mais significativos e mais exatos quando são feitos para unidades operacionais individuais (SENAI.RS, 2003).

O CNTL afirma que as fontes de informação para a geração de um balanço de material são diversas: registro de compra, relações de materiais, registros de composição dos lotes, especificações do produto, literatura, operários, etc. Contudo, o CNTL afirma que o balanço de material deve ser checado para identificar as lacunas e imprecisões, uma vez que raramente os valores quantificados das entradas se igualam aos das saídas mais ao da acumulação. Dessa forma faz-se necessário uma avaliação para determinar o nível de exatidão aceitável, o que poderá variar caso a caso a depender da: toxicidade, custo, impacto ambiental do material/ resíduo, etc (SENAI.RS, 2003).

#### *Sugestão de melhoria – passo 08*

Para os casos em que a exatidão e a precisão das medidas forem relevantes, algumas ações podem ser tomadas. Primeiro sugere-se a calibração do instrumento de medição, a fim de melhorar a exatidão das medidas. Em seguida, indica-se a utilização da ferramenta estatística Gage R&R para avaliação do sistema de medição. O estudo de Gage R&R proporciona a análise da variação do sistema de medição, e dessa forma, garante a confiança dos dados por meio da precisão das medições realizadas.

O CNTL afirma que o conhecimento do balanço de material dos processos produtivos permite a identificação de melhorias, como por exemplo: melhores práticas de gestão de resíduos, prevenção da geração de resíduos e emissões, e segregação ou reciclagem das correntes de resíduos.

### 5.9 PASSO 09: AVALIAR AS CAUSAS

Este passo, segundo o CNTL, objetiva realçar as fontes e causas de geração dos resíduos sólidos, resíduos líquidos e emissões, e das perdas de energia. Ele

afirma que a partir do balanço de material deve-se compreender de onde, porque e quantos resíduos e emissão são gerados e quanta energia é perdida. Esta compreensão serve como foco para a identificação das oportunidades de produção mais limpa (SENAI.RS, 2003).

#### *Sugestão de melhoria – passo 09*

Campos (1992) sugere o uso de algumas ferramentas para organizar a coleta de dados na estratificação de problemas: diagrama de Ishikawa, brainstorming e folha de verificação.

Por meio do diagrama de Ishikawa pode-se dividir um problema em várias possíveis causas, considerando os 6 âmbitos de uma unidade operacional: método, meio, máquina, matéria-prima, mão-de-obra, e medição. As causas são sugeridas para cada âmbito pesquisado pelo Ecotime por meio da técnica de brainstorming. O diagrama de Ishikawa deve ser desmembrado em diversas causas até se chegar à última de acordo com o grupo – o que seria a causa-raiz – aquela que uma vez solucionada elimina o problema (WERKEMA, 1995 *apud* SILVA *et al* 2013). Elaborase então uma folha de verificação para a coleta de dados para cada causa-raiz, a fim de se analisar posteriormente a sua relação com o efeito percebido no balanço de material.

Em seguida, a depender dos dados disponíveis para análise das causas, sugere-se verificar a aplicação de algumas ferramentas estatísticas para análise dos dados coletados a fim de verificar a relação existente entre as variáveis de causa com a variável resposta (efeito/ oportunidade de P+L) tais como: análise de Pareto, histograma, box-plot, gráfico de dispersão, coeficiente de Pearson e regressão.

A análise de Pareto pode ser utilizada para avaliar, dentre as diversas causas-raiz identificadas, quais são as que mais contribuem para a ocorrência do efeito – conforme o princípio de Pareto que afirma que as causas vitais (20% das causas) representam as maiores oportunidades de melhoria (80% das oportunidades de melhoria).

O histograma pode ser utilizado para dar uma indicação confiável da distribuição das medições de uma variável, caso haja uma amostra grande da mesma, avaliando a média, mediana e moda dos dados.

O box-plot pode ser utilizado para análises estáticas de uma mesma variável para uma ou mais populações, como é o caso do funcionamento de duas linhas de produção, por exemplo. Assim, por meio da representação gráfica em paralelo, é

possível comparar informações de distribuição dos dados: média, mediana, além de valores atípicos (*outliers*).

No gráfico de dispersão, representa-se graficamente as variáveis de entrada e saída a fim de identificar alguma relação entre elas. A partir deste gráfico é possível verificar se as variáveis possuem alguma relação linear por meio do cálculo do coeficiente de Pearson.

Caso não haja uma relação linear satisfatória, outros tipos de relação podem ser estudados por meio da análise de regressão, uma vez que ela pode ser do tipo: quadrática, cúbica, exponencial, logarítmica, etc.

#### 5.10 PASSO 10: GERAR OPORTUNIDADES DE P+L

Conforme o CNTL, este passo objetiva gerar um conjunto abrangente de medidas de produção mais limpa, uma vez conhecidas as fontes e causas da geração dos resíduos e emissões. Tendo a mão o fluxograma do processo e o balanço de material, é possível escolher a unidade de operação, material, correntes de resíduos e emissões que se quer submeter mais urgentemente a mudanças de produção mais limpa (SENAI.RS, 2003).

A Unep (1996) afirma que a fim de se pensar e sugerir todas as possibilidades de técnicas de P+L para solucionar cada oportunidade, faz-se necessário um ambiente intelectual criativo, com base na mais ampla experiência possível. Dessa forma, inicialmente os membros da equipe devem se familiarizar com os processos e as unidades de operação, assim como de todas informações sobre as oportunidades de P+L, em seguida uma sessão de brainstorming para desenvolvimento de soluções deve ser realizada (SENAI.RS, 2003). Segundo a Unep (1996), uma sessão de brainstorming é mais efetiva quando gerentes, engenheiros, operadores e outros funcionários, assim como consultores externos trabalham juntos sem restrições hierárquicas. Por meio da sessão de brainstorming, para cada causa-raiz identificada devem ser sugeridas soluções que costumam ter como base as técnicas apresentadas na Figura 7. A ordem de prioridade de sugestões das técnicas deverá ser daquelas que visam a redução na fonte de geração do resíduo e de baixo investimento até aquelas que envolvam maiores mudanças tecnológicas e grandes investimentos, conforme indicado em La Grega (1994) anteriormente.

Figura 7 - Elementos de processo para proposição de medidas de P+L.



Fonte: UNEP, 1996.

### *Sugestão de melhoria – passo 10*

Contudo, antes da realização da sessão de brainstorming, convém previamente elencar as causas-raízes que possuem maior urgência na sua resolução por meio da utilização da ferramenta de qualidade FMEA. Uma vez conhecidas as causas e os efeitos de cada modo de falha, é possível classificá-los segundo a frequência de ocorrência da causa, a severidade do efeito, e o grau de detecção do modo de falha. O produto desses parâmetros gera o índice de prioridade que sinaliza quais causas-raízes (oportunidades de P+L) deverão ter preferência nesta etapa de levantamento de soluções de P+L.

#### 5.11 PASSO 11: SELECIONAR AS OPORTUNIDADES DE P+L

Segundo o CNTL, após ter sido gerado um número satisfatório de soluções de P+L, elas devem ser separadas, e aquelas que parecem mais promissoras são submetidas a um estudo de viabilidade. Este passo objetiva selecionar e priorizar as oportunidades de produção mais limpa para estudo posterior, por meio das seguintes atividades (SENAI.RS, 2003):

- a) Organizar as oportunidades por unidade de operação;
- b) Avaliar as interferências mútuas óbvias;
- c) Implementar oportunidades obviamente viáveis;
- d) Eliminar oportunidades obviamente inviáveis;
- e) Priorizar as soluções de P+L de acordo com sua disponibilidade, praticabilidade, efeito ambiental e viabilidade econômica.

## 5.12 PASSO 12: AVALIAÇÃO PRELIMINAR

O CNTL afirma que todas as soluções selecionadas devem, em princípio, ser avaliadas em sua viabilidade técnica, econômica e ambiental, contudo, para algumas, pode não ser necessária uma avaliação tão abrangente. Logo, este passo objetiva determinar o nível de detalhes no qual cada solução deve ser avaliada por meio da seguinte classificação (SENAI.RS, 2003):

- a) Oportunidades de procedimentos versus oportunidades técnicas;
- b) Oportunidades relativamente simples versus oportunidades complexas;
- c) Oportunidades pouco onerosas versus oportunidades caras.

## 5.13 PASSO 13: AVALIAÇÃO TÉCNICA

Segundo o CNTL, este passo objetiva determinar a viabilidade técnica das soluções de produção mais limpa selecionadas. Devem ser avaliados os impactos da medida proposta sobre o processo, a taxa de produção, a segurança, etc. e para isso podem ser necessários testes de laboratório ou bateria de ensaios quando ela estiver mudando significativamente as práticas correntes do processo (SENAI.RS, 2003).

### *Sugestão de melhoria – passo 13*

Quando a realização de testes e ensaios for necessária, sugere-se o uso de algumas ferramentas de qualidade e estatística para auxiliar na execução dessa etapa: DOE e teste de hipóteses.

Por meio do DOE é possível realizar experimentação sistemática de modo a avaliar o comportamento dos efeitos quando se altera as variáveis de entrada. Assim, busca-se verificar quais variáveis possuem maior influência no efeito estudado, assim como a forma como eles estão relacionados, para então definir o padrão desejado de funcionamento da operação.

A fim de validar estatisticamente os resultados obtidos pelo DOE, pode-se utilizar o teste de hipóteses. Por meio do teste de hipótese é possível validar se houve de fato a melhoria pretendida no processo uma vez adotando as mudanças operacionais apontadas pelo DOE. Para sua realização é necessário a construção da hipótese nula ( $H_0$ ), que pode compreender o intervalo de confiança de valores do parâmetro que se deseja testar. Por meio desta ferramenta, conclui-se estatisticamente se a hipótese nula é falsa ou verdadeira, ou seja, se ela ocorre ou

não ocorre durante o processo produtivo. Uma vez confirmando a hipótese nula, alcança-se então a melhoria desejada e sua implantação em escala industrial poderá ser planejada, levando em consideração adicionalmente, os seguintes requisitos: mudanças de pessoal, operações adicionais, pessoal de manutenção, treinamento adicional dos técnicos e de outras pessoas (SENAI.RS, 2003).

#### 5.14 PASSO 14: AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Segundo o CNTL, este passo objetiva avaliar a eficiência do custo de uma solução de produção mais limpa, ou seja, seu investimento total e custos operacionais. A avaliação econômica é realizada usando medidas padrão de lucratividade, tais como o Período de Retorno, Valor Líquido Presente e Taxa Interna de Retorno (SENAI.RS, 2003).

#### 5.15 PASSO 15: AVALIAÇÃO AMBIENTAL

O CNTL afirma que o principal objetivo da produção mais limpa é a melhoria do desempenho ambiental da empresa, portanto é imperativa uma avaliação a fim de determinar os impactos positivos e negativos da oportunidade para o meio ambiente. As informações sobre os efeitos ambientais podem ser obtidas das folhas de dados sobre segurança dos materiais, fornecedores, órgão de proteção ambiental, organizações não-governamentais, associações de indústrias e de organizações das Nações Unidas (SENAI.RS, 2003). Adicionalmente o documento-base apresenta uma lista de parâmetros e características que determinam o impacto ambiental de uma substância: substâncias voláteis, valor limite limiar, DL50, biodegradabilidade, dentre outros.

#### 5.16 PASSO 16: SELEÇÃO FINAL DAS OPORTUNIDADES DE P+L

Segundo o CNTL, este passo objetiva documentar o resultado dos estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental, e oferecer uma lista de medidas de produção mais limpa que devem ser consideradas para a implementação, e consequentemente as oportunidades de P+L que serão sanadas.

As medidas de P+L que parecem viáveis devem ser priorizadas usando o

“senso comum”, por meio de uma análise gradual comparativa (SENAI.RS, 2003). A análise gradual comparativa nada mais é do que uma matriz de decisão. O documento-base descreve como ela deve ser realizada: critérios devem ser selecionados para avaliação das medidas de P+L; a todas as medidas é atribuído um escore para cada critério; pela multiplicação do peso relativo do critério com o escore para a respectiva medida, obtém-se um escore final de cada medida de P+L. Logo, a medida com o escore mais alto é aquela que deverá ser selecionada para implementação a fim de solucionar uma determinada oportunidade de P+L.

#### 5.17 PASSO 17: PREPARAR PLANO DE P+L

Segundo o CNTL, este passo objetiva desenvolver um plano de implementação das soluções de produção mais limpa, no qual deverá ser descrito a duração do projeto, os recursos humanos e financeiros necessários.

##### *Sugestão de melhoria – passo 17*

Similarmente à elaboração do programa de execução das atividades de P+L pelo Ecotime (Passo 3), a ferramenta 5W2H pode ser utilizada para auxiliar na construção do plano de implementação das medidas de P+L, especificando para cada solução (*what*) a razão dela ser implementada (*why*), o local onde será implementada (*where*), o prazo para sua implementação (*when*), a pessoa responsável (*who*), o método de implementação (*how*) e o custo de implementação (*how much*).

Este passo compreende o último item a compor a etapa *Plan* (P) do Ciclo PDCA.

#### 5.18 PASSO 18: IMPLEMENTAR OPORTUNIDADES DE P+L

O CNTL afirma que este passo objetiva implementar medidas de produção mais limpa, e quando envolve a modificação ou aquisição de equipamentos novos é similar a qualquer outro projeto de investimento. Ele é composto pelas seguintes etapas: planejamento, design, aquisição e construção (quando aplicável) (SENAI.RS, 2003).

Este passo é equivalente à etapa *Do* (D) do Ciclo PDCA.

## 5.19 PASSO 19: MONITORAR E AVALIAR

Segundo o CNTL, este passo objetiva monitorar e avaliar o desempenho das medidas de produção mais limpa implementadas. Ele precisa ser monitorado periodicamente e os resultados verdadeiros precisam ser comparados aos resultados “esperados” a fim de se verificar se as metas de produção mais limpa foram atingidas (SENAI.RS, 2003). O CNTL ainda afirma que a comparação da condição operacional “antes” e “depois” é essencial para a avaliação das medidas de P+L implementadas.

O documento-base aponta três modos de monitorar a eficácia da medida de produção mais limpa implementada, por meio da medição das:

- a) Mudanças na geração de resíduos e emissões;
- b) Mudanças no consumo de recursos;
- c) Mudanças na lucratividade.

### *Sugestão de melhoria – passo 19*

A fim de auxiliar na execução dessa etapa, sugere-se o uso de duas ferramentas: CEP e Poka-Yoke. Por meio do CEP é possível monitorar e controlar os processos através de análises estatísticas (DE VRIES, RENEAU, 2010 *apud* TAKAHASHI, 2011). Através do uso do gráfico de controle, principal ferramenta do CEP, é possível monitorar o valor médio e a variabilidade do parâmetro melhorado ao longo do tempo. Já a implantação de dispositivos à prova de erro ou Poka-Yoke são importantes para evitar erros humanos durante a operação do processo.

Este passo equivale-se à etapa *Check* (C) do Ciclo PDCA.

## 5.20 PASSO 20: SUSTENTAR ATIVIDADES DE P+L

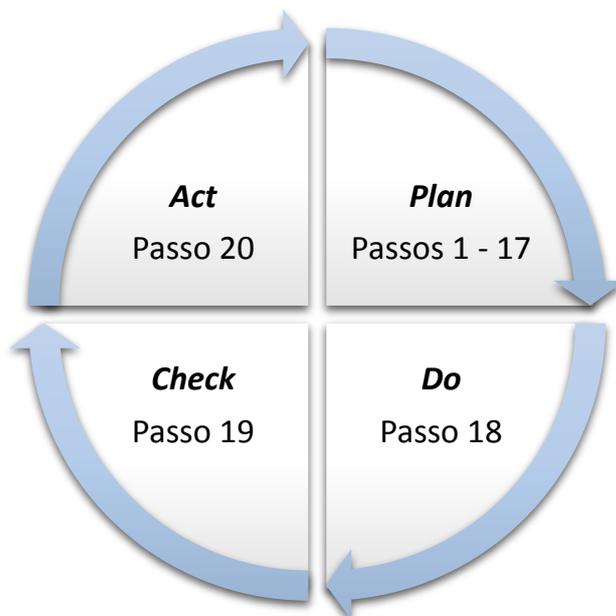
Segundo o CNTL, este passo objetiva sustentar as atividades de produção mais limpa na empresa. Ele afirma que o melhor modo de sustentar atividades de produção mais limpa é introduzir um programa de P+L que inclua todas as atividades necessárias para obter entusiasmo e comprometimento com avaliações de produção mais limpa repetidamente conduzidas.

Sugere-se nessa fase a execução da etapa *Action* indicada pelo ciclo de Deming (PDCA), em que conforme apontado por Silva et al (2013), no caso de alcance das metas, o programa de P+L deve ser reiniciado com o estabelecimento de novas metas, por outro lado, se as metas não forem alcançadas, suas causas devem ser

identificadas e medidas corretivas devem ser estabelecidas a fim de proporcionar a melhoria contínua da implantação de programas de P+L na empresa.

Por fim, este passo é análogo à etapa *Act* (A) do Ciclo PDCA. A Figura 8 apresenta a disposição dos passos da metodologia de P+L do CNTL no Ciclo PDCA.

Figura 8 - Disposição dos passos da metodologia de P+L no ciclo PDCA.



Fonte: Elaboração própria.

No caso da empresa possuir previamente o SGA implantado, a execução da metodologia de P+L pode se tornar mais fácil, uma vez que ambas possuem como base para encadeamento lógico macro de suas etapas o ciclo do PDCA, visando a melhoria contínua de seus processos. Além disso, por meio do SGA a empresa toma maior conhecimento dos seus aspectos ambientais, assim como de sua forma de monitoramento e controle. Esta ciência auxilia na implantação da metodologia de P+L, uma vez que pode servir como base para o estabelecimento de objetivos e metas ambientais, facilitar na coleta de informações e dados para fins de construção do fluxograma ambiental de processo, e contribuindo, por exemplo, para o estabelecimento dos focos de avaliação da produção mais limpa.

Uma vez que algumas ferramentas estudadas neste trabalho já estavam incluídas na metodologia de P+L do CNTL, nem todas foram sugeridas para sua melhoria. Ela já contava com o uso das ferramentas de qualidade: fluxograma, brainstorming e matriz de decisão. Contudo, além de enfatizarmos o uso dessas

ferramentas onde elas já eram previstas, sugerimos sua aplicação também em outras etapas da metodologia, como foi o caso do brainstorming para a identificação de barreiras e soluções (Passo 04), e avaliação das causas (Passo 09).

Assim como no trabalho realizado por SILVA *et al* (2012), a melhoria da metodologia de P+L foi realizada por meio da inserção das ferramentas de qualidade: gráfico de tendência, 5W1H, matriz GUT, diagrama de Ishikawa, brainstorming, folha de verificação, e análise de Pareto nas etapas referentes ao estabelecimento de metas, determinação do foco de avaliação de P+L, avaliação das causas e elaboração do plano de P+L. Além dessas ferramentas, este trabalho propôs melhoria na metodologia utilizando também as ferramentas estatísticas: Gage R&R, histograma, box-plot, gráfico de dispersão, coeficiente de Pearson, regressão, DOE, teste de hipóteses, FMEA e CEP, além da técnica Poka-yoke, a fim de subsidiar as etapas de balanço de material, avaliação das causas, avaliação técnica, seleção das oportunidades, monitoramento e avaliação das oportunidades de P+L implantadas.

A proposta de melhoria da metodologia de Produção mais Limpa do CNTL por meio da inserção de ferramentas de qualidade e estatística é apresentada de forma resumida no Quadro 4.

Quadro 4 - Resumo da inserção de ferramentas de qualidade e estatística na metodologia de P+L do CNTL.

<b>Passo da metodologia de P+L</b>	<b>Ferramenta de qualidade e estatística</b>
01 – Obter comprometimento da gerência	-
02 – Organizar o Ecotime	-
03 – Estabelecer metas	Gráfico de tendência, 5W1H
04 – Barreiras e soluções	Brainstorming
05 – Desenvolver fluxograma do processo	Fluxograma*
06 – Avaliar as entradas e saídas	-
07 – Determinar focos de avaliação de P+L	Matriz GUT
08 – Originar um balanço de material	Gage R&R
09 – Avaliação das causas	Diagrama de Ishikawa, brainstorming, folha de verificação, análise de Pareto, histograma, <i>box-plot</i> , gráfico de dispersão, coeficiente de Pearson e regressão.

<b>Passo da metodologia de P+L</b>	<b>Ferramenta de qualidade e estatística</b>
10 – Gerar medidas de P+L	Brainstorming* e FMEA
11 – Seleção de oportunidades de P+L	-
12 – Avaliação Preliminar	-
13 – Avaliação técnica	DOE e Teste de hipóteses
14 – Avaliação Econômica	-
15 – Avaliação Ambiental	-
16 – Selecionar as oportunidades	matriz de decisão*
17 – Preparar um plano de P+L	5W2H
18 – Implementar oportunidades de P+L	-
19 – Monitorar e avaliar	CEP e Poka-Yoke
20 – Sustentar atividades de P+L	-

\* Ferramentas de qualidade já consideradas na metodologia de P+L do CNTL, contudo enfatizadas por este trabalho.

Fonte: elaboração própria.

Conforme mencionado por Silva *et al* (2012) e Calia (2007), observa-se que a inserção de ferramentas de qualidade e estatística nas etapas da metodologia de P+L pode levar à sua maior sistematização, contribuindo para o alcance dos resultados. No passo 03 da metodologia, o gráfico de tendência auxilia no estabelecimento da meta desejada, e o 5W1H orienta a construção do programa de execução das atividades. No passo 04, o brainstorming é utilizado para estruturar a coleta de ideias para identificação de barreiras e soluções. No passo 07, a matriz GUT prioriza os problemas a fim de auxiliar na determinação do foco de avaliação de P+L. No passo 08, sugere-se o uso do Gage R&R para avaliação do sistema de medição. No passo 09, propõe-se o uso das ferramentas: diagrama de Ishikawa, brainstorming e folha de verificação, para coleta de dados e estratificação de problemas para fins de identificação das causas raízes; já para a análise dos dados coletados, sugere-se o uso das seguintes ferramentas: análise de Pareto, histograma, box-plot, gráfico de dispersão, coeficiente de Pearson e regressão. No passo 10, o FMEA pode ser utilizado para a priorização das oportunidades de P+L a serem sanadas. No passo 13, o DOE e o teste de hipóteses auxiliam na realização da experimentação sistemática e na validação estatística dos resultados, respectivamente. No passo 17 o 5W2H

auxilia na elaboração do plano de implementação das medidas de P+L. Por fim, no passo 19, o CEP auxilia no monitoramento e controle dos processos e o Poka-Yoke evita erros humanos no processo.

Semelhante à conclusão do trabalho realizado por Silva *et al* (2012), as melhorias sugeridas na metodologia de P+L do CNTL tiveram como foco principal a etapa *Plan* do ciclo de PDCA. Trata-se de um ponto positivo, uma vez que ela é a etapa principal do ciclo PDCA, já que a sucessão das atividades no decorrer das demais etapas depende das decisões tomadas nela (SILVA *et al*, 2012). Dessa forma, na presença de uma etapa mais robusta de planejamento, as etapas de implementação, verificação e análise crítica das oportunidades de Produção mais Limpa ficam mais propensas ao sucesso.

Observou-se também, assim como no trabalho realizado por Silva *et al* (2012), que a metodologia de P+L do CNTL apresenta um enfoque mais gerencial, com foco em todo o processo, incluindo a sua continuidade a longo prazo. Assim, por meio da inclusão de algumas ferramentas de qualidade e estatística podemos torná-la mais técnica, e assim focar melhor no estágio de coleta e análise de dados, além da validação dos resultados. Isso pode proporcionar à empresa uma segurança maior na tomada de decisão sobre a implantação da melhoria de P+L sugerida pela metodologia, além da concretização de resultados após sua implantação, propiciando a continuidade da sua execução a fim de angariar desempenhos econômicos e ambientais cada vez melhores.

Dessa forma, nota-se que o uso das ferramentas de qualidade e estatísticas sugeridas podem auxiliar numa maior organização de coleta de ideias, priorização de problemas ou atividades, organização e precisão na coleta de dados, análise estatística dos mesmos, experimentação e validação estatística dos resultados, além de monitoramento e controle estatístico dos mesmos. Isso pode resultar numa metodologia de P+L mais robusta, proporcionando resultados mais confiáveis nos processos produtivos beneficiados.

## 6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho se propôs a apresentar uma proposta para melhoria da metodologia de Produção mais Limpa utilizada pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas, por meio da inserção de ferramentas de qualidade e estatística. O objetivo foi atingido por meio da proposta de inserção de 19 ferramentas de qualidade e estatística em 9 passos dos 20 apresentados pela metodologia, promovendo melhorias por meio de uma maior sistematização da execução das etapas para sua implementação.

Observa-se, no entanto, que nem todas as ferramentas de qualidade e estatística sugeridas, obrigatoriamente precisam ser utilizadas durante a implantação de metodologia de P+L na empresa. As ferramentas que talvez sejam dispensáveis para execução da metodologia são: gráfico de tendência no passo 03 devido à necessidade de um histórico de dados de determinado parâmetro; Gage R&R no passo 08 devido ao nível de precisão necessária para a medição dos dados; e histograma e *box-plot* no passo 09 pois tratam-se de análises complementares dos dados coletados.

Pode-se dizer que empresas que possuam a metodologia “Seis Sigma” implantada são mais privilegiadas, uma vez que seus funcionários capacitados neste método, provavelmente têm bom conhecimento das ferramentas de qualidade e estatística. A partir desta ciência eles poderão com uma facilidade maior, perceber a necessidade do uso de uma ferramenta para auxiliar no cumprimento de uma determinada etapa no decorrer da implantação da metodologia. Isso não quer dizer, sob nenhuma hipótese, que empresas que não adotam este método no dia-a-dia são incapazes de entender e utilizar tais ferramentas. Apesar da apresentação de algumas ferramentas mais complexas, a maioria são de fácil entendimento e uso. Além disso, para aquelas que demandam cálculos mais avançados, hoje em dia existem diversos *softwares* comerciais (por exemplo: Excel®, SPSS®, Minitab®) que auxiliam no uso de tais ferramentas, realizando todo cálculo necessário para se obter os valores dos índices desejados, bastando para isso apenas algum treinamento.

Conclui-se que o uso de ferramentas de qualidade e estatística pode gerar um maior detalhamento de ações a serem desenvolvidas a cada etapa, e sistematizar mais a metodologia de P+L do CNTL, podendo levar a execuções mais rápidas e eficazes de suas etapas, assim como maximizar os efeitos positivos da implementação das oportunidades de P+L sugeridas. Esta maximização dos efeitos

positivos poderá levar a uma melhora do desempenho ambiental da empresa que diretamente afetará seu sistema de gestão ambiental, por meio de uma possível redução dos aspectos ambientais críticos, ou no mínimo, melhor monitoramento e controle do mesmo, diminuindo o impacto de suas atividades produtivas no meio ambiente.

Vale ressaltar que a sugestão aqui apresentada trata-se de uma proposta teórica de melhorias, sendo o próximo passo sua consolidação prática. Assim, recomenda-se sua aplicação em empresas de serviços ou produtos a fim de que as melhorias propostas se consolidem como úteis na execução da metodologia de P+L do CNTL. Esta aplicação também seria bem-vinda para a identificação de novas oportunidades de melhoria da metodologia de P+L do CNTL por meio de técnicas e ferramentas estatística mais elaboradas.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001:** sistemas de gestão ambiental: especificações. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004.

AQG – AUCTUS QUALIDADE E GESTÃO. **Ferramenta – matriz de decisão.** Campinas. 7 mar. 2013. Disponível em: <<http://www.auctus.com.br/ferramenta-matriz-de-decisao/>>. Acesso em: 13 out. 2014.

BARBIERI, J.C. **Gestão ambiental empresarial:** conceitos, modelos e instrumentos. 3.ed. atual e ampliada. São Paulo: Saraiva, 2011.

BARRETO, J.C.N. **As ferramentas da qualidade e seu uso no gerenciamento ambiental da indústria no polo sidero-petroquímico de Cubatão.** Tese (doutorado). Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2000.

BIZZOTTO, M. Europa ainda está contaminada por Chernobyl, diz estudo. **BBC Brasil.com**, Bruxelas, Bélgica, 19 abr. 2006. Disponível em: <[http://www.bbc.co.uk/portuguese/reporterbbc/story/2006/04/060419\\_chernobylmarciars.shtml](http://www.bbc.co.uk/portuguese/reporterbbc/story/2006/04/060419_chernobylmarciars.shtml)>. Acesso em: 21 jul. 2014.

CALIA, R.C. **A difusão da Produção mais Limpa:** o impacto do Seis Sigma no desempenho ambiental sob o recorte analítico de redes. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 2007.

CAMPOS, V.F. **TQC: Controle da Qualidade Total** (no estilo japonês) / Vicente Falconi Campos. Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1992.

CAMPOS, V.R.; ALMEIDA, A.T. Modelo multicritério de decisão para localização de nova jaguaribara com VIP analysis. **Pesquisa Operacional**, v.26, n.1, p.91-107, jan.-abr. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pope/v26n1/29476.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2014.

CAPPARELLI, H.F. **Sistema de gestão ambiental e Produção mais Limpa:** análise de práticas e interação dos sistemas. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, 2010.

CEBDS - CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Guia de Produção mais Limpa:** faça você mesmo. Rio de Janeiro: 2003.

COELHO, A. **Avaliação da aplicação da metodologia de Produção mais Limpa UNIDO/UNEP no setor de saneamento:** Estudo de Caso - EMBASA S.A. Dissertação (mestrado). Universidade Federal da Bahia - UFBA, Salvador, 2004.

COSTA, L.G.; DAMASCENO, M.V.N.; SANTOS, R.S. A conferência de Estocolmo e o pensamento ambientalista: como tudo começou. **Revista Âmbito Jurídico**, Rio Grande do Sul, v.15, n.105, out. 2012. Disponível em: <<http://www.ambito->

[juridico.com.br/site/?n\\_link=revista\\_artigos\\_leitura&artigo\\_id=12292](http://juridico.com.br/site/?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=12292)>. Acesso em: 21 jul. 2014.

COSTA, S.P. **Aplicação de ferramentas da qualidade no desenvolvimento de métodos multiresíduos**. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 2012.

CNTL - CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS SENAI/RS /UNIDO/UNEP. **Implementação de programas de Produção mais Limpa**. Porto Alegre: 2003.

CURTIVO, C.P.D. **Avaliação do processo de fabricação de comprimidos de Captopril (25 mg)**: aplicação da tecnologia analítica de processo e de ferramentas da qualidade e estatística. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2011.

DOMINGUES, R.M.; PAULINO, S.R. Potencial para implantação da produção mais limpa em sistemas locais de produção: o polo joalheiro de São José do Rio Preto/ Potential for implantation of cleaner production in local production systems: the jewelry cluster of São José do Rio Preto. **Gestão & Produção**. São Carlos v.16 n.4 oct.-dec. 2009.

FIESP - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Melhore a competitividade com sistema de gestão ambiental – SGA**. São Paulo: 2007.

FIGUEIREDO FILHO, D.B.; SILVA JÚNIOR, J.A. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r)\*. **Revista Política Hoje**, v. 18 n.1, 2009.

FOGLIATTO, F. **FMEA**. Rio Grande do Sul, [201-?]. Disponível em: <[http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/397\\_laminas\\_da\\_aula\\_7.pdf](http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/397_laminas_da_aula_7.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2014.

GABRIEL, F.A.; TRINDADE, B.D.; ARAÚJO, J.P.F. Análise de aspectos ambientais e proposta de implantação de um SGA para uma oficina mecânica. In: VII SEPRONE, 26 a 29 de junho de 2012, Mossoró-RN. Disponível em: <<http://www.seprone2012.com.br/sites/default/files/es19.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2014.

GREENPEACE. **Bhopal, Índia: O pior desastre químico da história, 1984-2002**. Disponível em: <[http://www.greenpeace.org.br/bhopal/docs/Bhopal\\_desastre\\_continua.pdf](http://www.greenpeace.org.br/bhopal/docs/Bhopal_desastre_continua.pdf)>. Acesso em: 21 jul. 2014.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **The ISO survey 2013**. Apresenta notícias sobre o ISO survey. Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/home/standards/certification/iso-survey.htm?certificate=ISO%209001&countrycode=AF>>. Acesso em: 7 jul. 2014.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2013: the physical science basis**. Headline statements from the summary for

polycymakers. Disponível em <<http://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 8 abr. 2014.

KIPERSTOK, Asher *et al.* **Prevenção da poluição**. Brasília: SENAI/DN, 2002.

MEDEIROS, L. **Boxplot**. Paraíba, [201?]. Disponível em: <<http://www.de.ufpb.br/~luiz/AED/Aula8.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2014.

MONTGOMERY, D.C. **Applied statistics and probability for engineers/** Douglas C. Montgomery, George C. Runger. U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc., 2002.

MORORO, B.O. **Modelagem sistêmica do processo de melhoria contínua de processos industriais utilizando o método Seis Sigma e Redes de Petri**. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2008.

MSS – MINITAB STATISTICAL SOFTWARE. **Fundamentos do estudo de Gage R&R**. Apresenta tutoriais. Disponível em: <<http://www.minitab.com/pt-br/Support/Tutorials/Fundamentals-of-Gage-R-R/>>. Acesso em: 08 out. 2014.

NICOLELLA, G. **Sistema de gestão ambiental**: aspectos teóricos e análise de um conjunto de empresas da região de Campinas, SP/ Gilberto Nicolella, João Fernandes Marques, Ladislau Araújo Skorupa. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **A ONU e o meio ambiente**. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-e-o-meio-ambiente/>>. Acesso em: 21 jul. 2014.

U.S.A. OR&R – OFFICE OF RESPONSE AND RESTORATION. **Exxon Valdez oil spill**. Disponível em: <<http://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/significant-incidents/exxon-valdez-oil-spill/>>. Acesso em: 21 jul. 2014.

PERIARD, G. **Matriz GUT**: guia completo. [S.l.]. 3 nov. 2011. Disponível em: <<http://www.sobreadministracao.com/matriz-gut-guia-completo/>>. Acesso em 25 set. 2014.

PETERNELLI, L.A. **Regressão linear e correlação**. Viçosa, [201-?]. Disponível em: <<http://www.dpi.ufv.br/~peterneilli/inf162.www.16032004/materiais/CAPITULO9.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2014.

PORTER, M.E.; LINDE, C.V. Green and competitive: ending the stalemate. **Harvard Business Review**, Boston, v. 73, n. 5, p. 120-134, 1995.

PSA – PORTAL SOFTWARE ACTION. **Análise de regressão**. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/content/an%C3%A1lise-de-regress%C3%A3o>>. Acesso em: 19 set. 2014.

\_\_\_\_\_. **DOE**: planejamento do experimento: introdução. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/555-introdu%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 19 set. 2014.

SANTOS, R.M.; LUCK, G. **Formação de Green Belts: metodologia Six-Sigma**. Salvador. 15 de outubro 2011. 248 slides. Apresentação em Power-point.

SANTOS, S.R. **Proposta metodológica utilizando ferramentas de qualidade na avaliação do processo de pulverização**. Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SENAI.RS. **Cinco fases da implantação de técnicas de produção mais limpa**. Porto Alegre: UNIDO, UNEP, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI, 2003

SILVA, C.R.; SANT'ANNA, A.P. Uma aplicação do planejamento de experimentos na indústria farmacêutica. **Sistemas & Gestão**, v.2, n.3, p. 274-384, set.-dez. 2007.

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, nov. 2012.

SILVA, E.L. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4 ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA JUNIOR, A.C. **Oportunidades para compras verdes na Petróleo Brasileiro S.A.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal da Bahia - UFBA, Salvador, 2007.

TAKAHASHI, F.H. **Aplicação do controle estatístico de processos (CEP) como ferramenta para a melhoria da qualidade do leite**. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba, 2011.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. The international declaration on Cleaner Production: from signature to action. **UNEP Industry and Environment**, v.24, n.1-2, p.10, jan.-jun. 2001.

\_\_\_\_\_. **Resource efficient and Cleaner Production: the joint UNEP-UNIDO programme**. Disponível em: <[http://www.unep.fr/scp/cp/unep\\_unido\\_prog.htm](http://www.unep.fr/scp/cp/unep_unido_prog.htm)>. Acesso em: 17 set. 2014.

\_\_\_\_\_. **Cleaner Production: a training resource package**. Paris, 1996. ISBN 9280716050.

UNIDO - UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANISATION. **The national Cleaner Production centres network**. Disponível em: <<http://www.unido.org/ncpc.html>>. Acesso em: 10 jul. 2014a.

\_\_\_\_\_. **Cleaner Production (CP)**. Disponível em: <<http://www.unido.org/en/what-we-do/environment/resource-efficient-and-low-carbon-industrial-production/cp/cleaner-production.html>>. Acesso em: 18 set. 2014b.

UNIDO-UNEP. **Independent evaluation of the UNIDO-UNEP Cleaner Production programme**. Mai. 2008. Disponível em: <[http://www.unep.org/eou/Portals/52/Reports/Evaluation\\_of\\_UNIDO-](http://www.unep.org/eou/Portals/52/Reports/Evaluation_of_UNIDO-)

[UNEP\\_Cleaner\\_Production.pdf](#). Acesso em: 21 abr. 2014.

VILLELA, J.R.A. **Validação de processos**: um modelo utilizando ferramentas de qualidade e estatísticas. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Extreme weather in parts of the world**. Media centre – apresenta notícias relacionadas à meteorologia mundial. Disponível em:  
<<http://www.wmo.int/pages/mediacentre/news/ExtremeWeatherinpartsoftheworld.html>>. Acesso em: 15 abr. 2014.