

## **PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA UTILIZANDO O MÉTODO DMAIC**

**GEANDRA ALVES QUEIROZ** - geandraqueiroz@gmail.com  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS – EESC - USP

**JOSÉ AUGUSTO DE OLIVEIRA** - zebatatais@hotmail.com  
EESC - USP

**MARIANA GUARDIA** - marianaguardia@gmail.com  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP - SÃO CARLOS

**RAPHAEL LARAIA ROCHA DE BARROS COBRA** - raphaelcobra@gmail.com  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP - SÃO CARLOS

**KLEBER FRANCISCO ESPOSTO** - kleber@sc.usp.br  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP - SÃO CARLOS

**Resumo:** *A PREOCUPAÇÃO EM REDUZIR OS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELOS PROCESSOS PRODUTIVOS, BENS E SERVIÇOS É CRESCENTE NAS ORGANIZAÇÕES. A ESTRATÉGIA PRODUÇÃO MAIS LIMPA (PMAISL) PODE COLABORAR PARA QUE AS ORGANIZAÇÕES REDUZAM OS IMPACTOS AMBIENTAIS E MELHOREM A EFICIÊNCIA DE SEUS PROCESSOS. ENTRETANTO, A IMPLANTAÇÃO DESTA ESTRATÉGIA APRESENTA ALGUNS PROBLEMAS COMO FALTA DE SISTEMATIZAÇÃO E FALHAS NA INTEGRAÇÃO COM OUTROS SETORES DA EMPRESA. O DMAIC (DEFINE, MEASURE, ANALYZE, IMPROVE, CONTROL) É UM MÉTODO SISTEMÁTICO PARA A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS E PODE CONTRIBUIR PARA SUPRIR AS DEFICIÊNCIAS NA IMPLANTAÇÃO DA PMAISL. NESTE CONTEXTO, O OBJETIVO DESTA PESQUISA, MEDIANTE UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, FOI PROPOR A IMPLANTAÇÃO DA PMAISL POR MEIO DO MÉTODO DMAIC. COM A ELABORAÇÃO DESTE TRABALHO FOI POSSÍVEL IDENTIFICAR QUE O DMAIC PODE COMPLEMENTAR À PMAISL E QUE AMBOS POSSUEM SEMELHANÇAS E DIFERENÇAS. CONSTATOU-SE QUE A PROPOSTA PODE COLABORAR PARA A INTEGRAÇÃO DA PMAISL COM OUTRAS ÁREAS DA EMPRESA E TAMBÉM PODE APRIMORAR A IMPLANTAÇÃO DA PMAISL. O MÉTODO DE PESQUISA PERMITIU ATINGIR O OBJETIVO PROPOSTO. SUGERE-SE PARA PESQUISAS FUTURAS A APLICAÇÃO PRÁTICA PARA TESTAR, APRIMORAR E VALIDAR A PROPOSTA APRESENTADA.*

**Palavras-chaves:** *DMAIC; PRODUÇÃO MAIS LIMPA (PMAISL); MÉTODO DE IMPLANTAÇÃO.*

**Área:** 9 - *GESTÃO AMBIENTAL*

**Sub-Área:** 9.3 - *PRODUÇÃO MAIS LIMPA E ECOEFICIÊNCIA*

# PROPOSITION FOR THE IMPLEMENTATION OF CLEANER PRODUCTION USING THE DMAIC METHOD

**Abstract:** *THE CONCERNS TO REDUCE THE ENVIRONMENTAL IMPACT CAUSED BY PRODUCTION PROCESSES, GOODS AND SERVICES IS INCREASING IN ORGANIZATIONS. THE CLEANER PRODUCTION STRATEGY CAN HELP THE ORGANIZATIONS REDUCE THE ENVIRONMENTAL IMPACTS AND IMPROVE THE EFFICIENCY OF THEIR PROCESSES. HOWEVER, THE IMPLEMENTATION OF THIS STRATEGY PRESENTS SOME PROBLEMS SUCH AS THE LACK OF SYSTEMATIZATION AND FAILURES IN THE INTEGRATION WITH OTHER SECTORS OF THE COMPANY. THE DMAIC (DEFINE, MEASURE, ANALYZE, IMPROVE, CONTROL) IS A SYSTEMATIC METHOD FOR PROBLEM SOLVING AND CAN SUPPLEMENT THE SHORTCOMINGS IN THE IMPLEMENTATION OF THE CLEANER PRODUCTION. IN THIS CONTEXT, THE OBJECTIVE OF THIS RESEARCH WAS TO PROPOSE THE IMPLEMENTATION OF CLEANER PRODUCTION THROUGH THE DMAIC METHOD BASED ON A LITERATURE REVIEW. WITH THE DEVELOPMENT OF THIS RESEARCH IT WAS FOUND THAT THE DMAIC CAN COMPLEMENT THE CLEANER PRODUCTION STRATEGY AND THAT BOTH HAVE SIMILARITIES AND DIFFERENCES. IT WAS FOUND THAT THE PROPOSED INTEGRATION CAN CONTRIBUTE TO THE INTEGRATION OF CLEANER PRODUCTION WITH OTHER AREAS OF THE COMPANY AND CAN ALSO IMPROVE THE IMPLEMENTATION OF A CLEANER PRODUCTION PROGRAM. THE RESEARCH METHOD WAS ABLE TO ACHIEVE THE PROPOSED GOAL. IT IS SUGGESTED FOR FUTURE RESEARCH THE PRACTICAL APPLICATION OF THE PROPOSED INTEGRATION SO IT CAN BE TESTED, REFINED AND VALIDATED.*

**Keyword:** *DMAIC; CLEANER PRODUCTION; IMPLEMENTATION METHOD.*

## 1. Introdução

O desenvolvimento econômico depende diretamente do consumo de bens e serviços, os quais são gerados através de um processo de transformação. Este processo necessita de entradas, como recursos naturais, humanos e financeiros, e resultam nos produtos finais desejados pelos consumidores. Contudo, isto pode gerar impactos negativos sobre o meio ambiente.

A busca por alternativas, que resultem em redução dos impactos ambientais gerados pelos processos produtivos, bens e serviços, está cada vez mais presente nas organizações. A questão ambiental passar a ter uma abordagem estratégica, ou seja, para serem mais competitivas no mercado as empresas devem buscar desempenho econômico alinhado ao desempenho ambiental.

Como exposto pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI (2003) a evolução da gestão ambiental foi da preocupação com a disposição e tratamento dos resíduos para a prevenção, ou melhor, de o que fazer com os resíduos para o que fazer para não gerar os resíduos. Atualmente a busca pela não geração de resíduos pode ser fundamentada pela estratégia de Produção mais Limpa (PmaisL). Em que considera que o resíduo é um indício claro de ineficiência do processo, além de realizar a identificação e análise da causa deste resíduo, o que iniciará a atividade de avaliação desta estratégia.

A *United Nations environment Programme*- UNEP (2004), o SENAI (2003) e o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável-CEBDS apresentam metodologias para a implantação da PmaisL, contudo a implementação da PmaisL pode enfrentar barreiras. Este trabalho se concentra no problema da falta de integração e implementação sistemática da Produção mais Limpa, como destacado em Silva et al. (2013) e Oliveira (2011). Silva et al. (2013) apontam que os programas de PmaisL são implementados exclusivamente por órgãos ambientais, o que se torna uma dificuldade, pois este departamento não tem a autoridade e a experiência necessária para aplicar o programa em toda a empresa. Calia, Guerrini e Castro (2009) alegam o mesmo problema para programas de prevenção à poluição, além disso, ressaltam outros problemas como a resistência a mudança, apoio insuficiente dos tomadores de decisão, e a existência de estruturas organizacionais inflexíveis, mas ressaltam que a adoção da estrutura organizacional e a metodologia do Seis Sigma podem melhorar significativamente o desempenho ambiental.

O DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) é um método utilizado na implantação do Seis Sigma, o qual é estruturado para a resolução de problemas e para colaborar para melhoria contínua (CALIA; GUERRINI;CASTRO, 2009). Mast e Lokkerbol (2012) ainda apontam que o método visa à redução da variação dos processos. Além disso, Cleto e Quinteiro (2011) afirmam que este método pode ser muito útil para gestão de projetos interdisciplinares, colabora para obtenção de resultados confiáveis e possibilita uma abordagem ampla, flexível e aprofundada do problema.

Com isso, entende-se que uma possível maneira aprimorar a implantação da PmaisL é utilizar o método DMAIC. Este trabalho foi direcionado pela questão “É possível complementar a metodologia de implantação da PmaisL com o método DMAIC?” Assim, esta pesquisa tem como objetivo propor a implantação da PmaisL utilizando o método DMAIC. Para atingir este objetivo foi utilizado o método de pesquisa Teórico-Conceitual.

O artigo inicialmente expõe uma revisão bibliográfica sobre Produção mais Limpa e DMAIC, descreve o método de pesquisa, apresenta as análises e a proposta e, ao final, as considerações finais e agradecimentos.

## 2. Produção Mais Limpa

A Produção mais Limpa (PmaisL) é uma estratégia que objetiva evitar a poluição na origem por meio de um processo de melhoria contínua para aumentar o desempenho ambiental das organizações. Ou seja, o foco da gestão ambiental deverá ser na prevenção em vez de correção dos problemas ambientais (FRESNER, 1998; CALIA, 2007).

O conceito de PmaisL foi criado em 1989 pela UNEP (United Nations Environment Programme), que definiu como “*A aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva integrada aos processos e produtos de modo a reduzir os riscos aos humanos e ao ambiente*”.

A PmaisL objetiva, por meio do emprego de uma estratégia técnica, ambiental e econômica integrada aos processos e produtos, aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas (SENAI, 2003).

Nesta estratégia a variável ambiental é considerada em todos os níveis da empresa, como por exemplo, na compra de matérias-primas, na engenharia de produto e no pós-venda. Além disso, as questões ambientais são relacionadas com os ganhos econômicos para a empresa, busca-se gerar mais produtos e menos resíduos promovendo benefícios ambientais, econômicos e em saúde ocupacional (SENAI, 2003). Assim, como afirma Fresner (1998) Barbieri (2007) e Calia (2007), a PmaisL pode contribuir para o meio empresarial rumo ao desenvolvimento sustentável. Fresner (1998) expõe que os projetos que promovem esta estratégia na Áustria buscam a implementação da filosofia da PmaisL e o desencadeamento de mudanças nas empresas. O foco principal é criar a consciência para a prevenção da poluição, a fim de encontrar a fonte de resíduos e emissões, para definir um programa que reduza as emissões e aumente a eficiência dos recursos através da implementação e documentação de opções de melhorias da PmaisL.

A metodologia de Produção mais Limpa tem como princípio básico a prevenção à poluição durante os processos, não no final. Isto se deve ao fato de que os todos resíduos gerados por estes processos consumiram insumos, como água, energia e mão de obra, e foram comprados a preço de matéria-prima. Ressaltando, que após a geração destes resíduos, além dos custos anteriormente citados, outros são gerados como os custos de tratamento e armazenamento de resíduos, multas por não atendimento às legislações ambientais ou também por prejudicar a imagem da empresa (CEBEDS, 2013; ZENG et al., 2010).

A PmaisL se diferencia por fomentar medidas proativas de redução dos impactos ambientais, frente a medidas reativas ou corretivas nos sistemas produtivos. Além disso, pelo fato de se basear tanto em mudanças na maneira de gerenciar quanto em mudanças tecnológicas. Pois a PmaisL busca compreender os processos, diagnosticá-los, fazer análises e sempre averiguar as causas e os efeitos das ações. Desta forma, pode-se alcançar aumento de produtividade devido à redução de custos e minimização dos recursos por meio de tecnologias limpas (GETZNER, 2002; MEDEIROS et al., 2007).

A implantação da PmaisL é conduzida por cinco fases, as quais são compostas por alguns passos, como apontam UNEP (2004) e SENAI (2003) na Figura 1 são apresentadas as

cinco fases e os principais passos para a condução da P+L baseados nestas obras e posteriormente as respectivas características.

Fases	Passos
<b>Planejamento e Organização</b>	Obter o comprometimento da alta gerência.
	Obter o envolvimento dos funcionários.
	Organizar um Ecotime para o projeto.
	Desenvolvimento de uma política, objetivos e metas.
	Identificação de barreiras e soluções.
	Determinar foco da PmaisL.
	Planejamento da PmaisL.
<b>Pré-avaliação:</b>	Descrição da empresa.
	Acompanhamento do processo do início ao fim.
	Coleta das informações básicas do processo.
	Elaboração de um fluxograma do processo.
	Elaboração de um balanço de massa preliminar de energia e materiais.
<b>Avaliação</b>	Coleta dos dados quantitativos dos processos.
	Elaboração do balanço de massa detalhado de energia e materiais.
	Avaliação das causas.
	Identificação das oportunidades de PmaisL.
	Registro e Seleção das oportunidades.
<b>Análise de Viabilidade:</b>	Análise preliminar.
	Análise de viabilidade técnica.
	Análise de viabilidade econômica.
	Análise de viabilidade ambiental.
	Seleção das alternativas viáveis.
<b>Implantação e continuidade</b>	Preparação de um plano de implementação.
	Implementação das opções selecionadas.
	Monitoramento do desempenho.
	Sustentabilidade das atividades de PmaisL.

FIGURA 11- Fases e passos para a condução da PmaisL. Fonte: Adaptada de UNEP (2004) e SENAI (2003).

No **Planejamento e organização** a PmaisL é iniciada após o comprometimento da alta gerência que direciona a formação de uma equipe de PmaisL denominada de Ecotime, disponibiliza os recursos necessários e se responsabiliza por usar os resultados da PmaisL para a tomada de decisão. Para o envolvimento dos funcionários é necessário conscientizá-los do conceito de PmaisL desde o início, do mesmo modo que é importante a participação de todos e não limitando somente a funcionários técnicos. Posteriormente deve ocorrer a formação do Ecotime, o qual deve ser uma equipe multidisciplinar que receba treinamento adequado e realize reuniões frequentes (UNEP, 2004).

Ainda, nesta fase deve-se desenvolver uma política ambiental, identificar quais são as barreiras e as possíveis soluções para elas e determina-se qual será o foco, ou seja, o escopo (em que planta, linha de produção ou célula será implantada) e a ênfase (quais aspectos ambientais serão abordados como água, energia, e/ou resíduos). Ao final, é traçado um planejamento que envolve o plano de trabalho, cronograma e designação de responsabilidades (UNEP, 2004).



Na etapa de **Pré-avaliação** é recomendável que o Ecotime inicie compreendendo o funcionamento da empresa e listando o fluxo produtivo da unidade que será implantada, desde o recebimento de matérias-primas até o armazenamento ou expedição dos produtos finais. É importante que seja listado o passo a passo de cada processo e realizar observações referentes às questões ambientais envolvidas nestes processos, como os resíduos, emissões, consumo de água e energia envolvidos, bem como analisar as boas práticas já realizadas na empresa. Ao final deve ser feito um balanço preliminar de massa e energia, apoiados pelas informações registradas durante o passo a passo e todas as entradas devem ter uma saída relacionada (UNEP, 2004).

A etapa de **Avaliação** envolve a coletas de dados quantitativos buscando maior precisão para mensurar corretamente todas as entradas e saídas do processo para realizar o detalhamento e o aprimoramento do balanço de massa preliminar de energia e materiais. Assim, este balanço busca identificar as causas da geração de resíduos e da ineficiência produtiva. A obra de referência, UNEP (2004), para descrição destas etapas sugere a ferramenta “espinha de peixe” para a identificação das causas raízes dos problemas identificados.

Após a identificação das causas ocorre um processo de geração de opções para solucionar os problemas encontrados por meio de um *brainstorming* com todos os envolvidos como operários, supervisores, gerentes e o Ecotime. Estas opções podem estar relacionadas com melhorias no método de trabalho, práticas de gestão, otimização de processo, substituição de matéria prima, novas tecnologias, novo projeto de produto, reutilização de recursos, reciclagem interna, entre outros (FRESNER,1998; UNEP, 2004).

A **Análise de Viabilidade** se inicia com a realização, pela equipe de PmaisL, de uma triagem rápida e preliminar das opções de PmaisL com o objetivo de decidir sobre as prioridades de implementação, uma vez que podem existir opções simples e que podem ser implementadas de imediato. Entretanto, haverá opções que são tecnicamente e/ou economicamente mais complexas, carecendo de uma análise mais detalhada. Assim, são realizadas análises técnicas que buscam avaliar as opções como, por exemplo, em: consumo de energia, qualidade, recursos humanos necessários, os riscos oferecidos, facilidade na implementação e o tempo necessário (UNEP, 2004).

Do mesmo modo são feitas a análise de viabilidade ambiental em que se analisa a opção com base no ciclo de vida do produto ou serviço. E, por fim, é realizada a viabilidade econômica, na qual são estimados a economia de custos com compras de materiais, os custos evitados com a disposição e tratamento de resíduos, bem como a redução de custo no fluxo de produtivo e o tempo de retorno do investimento para a implementação das opções. Após a realização destas análises são selecionadas as alternativas viáveis para a implantação (UNEP, 2004).

A fase de **Implantação e continuidade** deve, primeiramente, estabelecer prioridades entre as alternativas viáveis selecionadas para a implementação. O passo seguinte é a elaboração de um plano de implementação que consiste na solicitação dos recursos necessários, como humanos, financeiros e equipamento, e também na organização dos projetos, planejando o tempo e a ordem das atividades. Recomenda-se, segundo dados da UNEP (2004) que para a implantação deve priorizar as opções de baixo custo, as fáceis de implementar ou que sejam pré-requisitos para a implementação de outras alternativas. Contudo alguns casos as prioridades são definidas de acordo com a estratégia da empresa.

Ao final, ressalta-se que para a aplicação e continuidade da PmaisL nas organizações são necessárias mudanças no gerenciamento e a integração do conceito de PmaisL em todo o

sistema de gestão da empresa. Além disso, o monitoramento do desempenho obtido com a implantação da PmaisL é muito importante, pois desta maneira a PmaisL permite que a empresa avalie melhor os seus processos produtivos e pode monitorar e alcançar processos com melhor desempenho ambiental e econômico (SENAI, 2003; UNEP, 2004).

SENAI. RS (2003) expõe que ao implementar a PmaisL a empresa passa a adquirir um melhor conhecimento de seus processos por meio de um controle constante visando a sustentabilidade de um sistema eco-eficiente de produção que proporcione bons indicadores ambientais e de processo.

Os benefícios proporcionados pela PmaisL também são ressaltados em SENAI (2003), como por exemplo a redução dos custos de produção, o aumento da eficiência e competitividade, a redução de gastos com multas, um maior acesso a linhas de financiamento, a melhoria na imagem da empresa junto aos *stakeholders*, uma maior satisfação dos clientes e a melhoria das condições de saúde e segurança dos funcionários.

### 3. O Método DMAIC

O método DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) é utilizado como base para o desenvolvimento de projetos do programa Seis Sigma. Este programa nasceu na Motorola em 1987 com o objetivo de auxiliar as empresas a produzirem produtos de melhor qualidade a um custo mais baixo por meio de ferramentas estatísticas, as quais são utilizadas para buscar a eliminação de defeitos em todos os processos e para atingir os resultados estratégicos da empresa (WERKEMA, 2004).

Santos e Martins (2003) afirmam que o método DMAIC é de grande importância para o sucesso na implantação de Projetos Seis Sigma, uma vez que se trata de uma abordagem quantitativa disciplinada visando à melhoria de indicadores definidos nos processos produtivos. Ainda, Cleto e Quinteiro (2011) e Gupta (2005) apontam que o DMAIC pode ser considerado uma importante ferramenta na Gestão de Mudanças e resolução de problemas.

O DMAIC orienta a implementação de qualquer projeto de melhoria de processo ou projeto, ou seja, pode ser eficaz para projetos que busquem aumento de produtividade, redução de custo, redução de defeitos, entre outros. Além disso, é considerado um método científico para implantação de melhorias e tomada de decisão (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001).

Mast e Lokkerbol (2012) também apontam que o DMAIC é aplicado na prática como um método genérico para resolução de problemas e para melhorias nas organizações. Ainda, os autores expõem que este método é aplicável a uma ampla gama de problemas, dos bem aos semiestruturados. Além disso, revelam que as vantagens do método são as poderosas técnicas estatísticas para constatar e verificar os fatos empiricamente e também como as fases no DMAIC estruturam o problema a ser resolvido. Entretanto, ressaltam uma limitação do método que não tem um método eficiente para diagnóstico de problemas.

A utilização da metodologia DMAIC, segundo Cleito e Quinteiro (2011) deve estar relacionada com uma solução desconhecida para um problema de desempenho da organização. Ainda, recomenda-se que é necessário ter objetivos mensuráveis vinculados a indicadores bem definidos que correspondam à chance do problema ser solucionado dentro de um ciclo de melhoria contínua. As atividades em cada uma das etapas do DMAIC são apresentadas na figura 2 e posteriormente é realizada uma descrição com suas principais características, ambas com base em Werkema (2004).



Fases	Atividades
<b>Define</b>	Descrever o problema do projeto e definir a meta.
	Avaliar o histórico do problema, retorno econômico, impacto sobre clientes/ consumidores e estratégias da empresa.
	Avaliar se o projeto é prioritário para a unidade de negócio e se será patrocinada pelos gestores envolvidos.
	Definir os participantes da equipe e suas responsabilidades, as possíveis restrições e suposições e o cronograma preliminar.
	Identificar as necessidades dos principais clientes do projeto.
	Definir o principal processo envolvido no projeto
<b>Measure</b>	Decidir entre as alternativas de coletar novos dados ou usar dados já existentes na empresa.
	Identificar a forma de estratificação para o problema.
	Planejar a coleta de dados.
	Preparar e testar os sistemas de Medição/Inspeção.
	Coletar dados.
	Analisar o impacto das várias partes do problema e identificar os problemas prioritários.
	Estudar as variações dos problemas prioritários identificados.
	Estabelecer a meta para cada problema prioritário.
<b>Analyze</b>	Analisar o processo gerador do problema prioritário.
	Analisar os dados do problema prioritário e de seu processo gerador.
	Identificar e organizar as causas potenciais do problema prioritário.
	Priorizar as causas potenciais do problema prioritário.
	Quantificar a importância das causas potenciais prioritárias (determinar as causas raízes).
<b>Improve</b>	Gerar ideias de soluções potenciais para a eliminação das causas fundamentais do problema prioritário.
	Priorizar as soluções potenciais.
	Avaliar e minimizar os riscos das soluções.
	Testar em pequena escala as soluções selecionadas, caso necessário.
	Elaborar e executar um plano para a implementação das soluções em larga escala.
<b>Control</b>	Avaliar o alcance da meta em larga escala.
	Padronizar as alterações realizadas no processo em consequência das soluções adotadas.
	Transmitir os novos padrões a todos os envolvidos.
	Definir e implementar um plano para monitoramento da performance do processo e do alcance da meta.
	Definir e implementar um plano para tomada de ações corretivas caso surjam problemas no processo.
	Sumarizar o que foi aprendido e fazer recomendações para trabalhos futuros.

FIGURA 2- Atividades do DMAIC. Fonte: WERKEMA, 2004.

A fase **D - Define** (Definir) envolve a definição do escopo do projeto e qual é o problema a ser resolvido, o resultado indesejável ou a oportunidade detectada a ser abordada no projeto. Ainda, foca-se na meta a ser atingida, define-se quais são os clientes e/ou

consumidores afetados pelo problema, qual é o processo relacionado ao problema e qual é o impacto econômico do projeto.

Na etapa **M - Measure** (Medir) determina-se a origem ou o foco do problema. Nesta fase o problema deverá ser apurado, para isso, devem-se compreender quais resultados necessitam ser medidos para a obtenção de dados úteis para encontrar o problema e quais são os focos prioritários do problema, os focos são indicados pela análise dos dados gerados por meio da medição de resultados relacionados ao problema.

A terceira fase, **A - Analyze** (Analisar) concentra-se em determinar as causas de cada problema prioritário, assim é decidido como deverão ser determinadas as causas raízes do problema prioritário associadas a cada uma das metas definidas na etapa anterior. Isto é, nesta etapa, para cada meta, será encontrada a razão do problema prioritário existir.

A fase **I - Improve** (Melhorar) abrange a proposta, a avaliação e a implementação de soluções para cada problema prioritário. Inicialmente devem ser geradas ideias sobre soluções potenciais para a eliminação das causas raízes do problema prioritário detectadas na etapa *Analyze*. Posteriormente deve-se analisar se essas ideias podem ser transformadas em soluções de elevado potencial para implementação, seguido pela definição de quais soluções possivelmente levarão ao alcance da meta com menor custo e maior facilidade de execução. E, por fim, define-se como as soluções escolhidas serão testadas e implementadas, com o objetivo de se garantirem o alcance da meta e a ausência de efeitos indesejáveis.

A última etapa do DMAIC, **C- Control** (Controlar), busca garantir que o alcance da meta seja mantido a longo prazo, ou seja, almeja-se a sustentabilidade das soluções implantadas. Inicialmente ocorre a avaliação do alcance da meta em larga escala, ou seja, os resultados obtidos são monitorados para confirmação do alcance do sucesso. Isto ocorre por meio de coleta de dados antes e após a implementação das soluções, assim torna-se possível uma comparação dos resultados e a verificação do alcance da meta.

Caso o resultado da avaliação seja desfavorável, a equipe deve retornar a etapa M do DMAIC para um maior aprofundamento da análise. Se o resultado for favorável a próxima fase consistirá na padronização das alterações realizadas no processo. Assim, novos procedimentos operacionais padrão devem ser estabelecidos ou os antigos devem ser revisados. A próxima fase da etapa *Control* consiste em definir e implementar um plano para a medição do desempenho do processo e do alcance da meta. Essa fase é essencial para evitar que o problema já solucionado se repetia no futuro por ficar fora dos padrões estabelecidos.

Werkema (2004) aponta que nas etapas do DMAIC ocorre a integração de várias ferramentas, as quais fazem com que o método ocorra de maneira sistemática baseado em dados e no uso de ferramentas estatísticas a fim de atingir os resultados estratégicos almejados pela empresa.

O mesmo autor ressalta que no DMAIC é dada grande ênfase ao planejamento, ou seja, antes de ser executada qualquer ação é dedicado tempo e atenção ao seu planejamento. Ainda, para Cleto e Quinteiro (2011), cada passagem entre uma fase e outra do DMAIC devem ser aprovadas por uma auditoria, uma vez que esta prática favorece a visão externa para auxiliar o coordenador e a equipe do projeto, possibilitando mais análises da situação.

#### 4. Método de pesquisa

A presente pesquisa pode ser classificada, quanto ao seu objetivo, como uma pesquisa descritiva. Pois, como afirma Gil (2007), a pesquisa descritiva tem como propósito principal

de estudar e descrever as principais características de determinado grupo de pessoas ou fenômeno ou também para se estabelecer relações entre variáveis.

O método de pesquisa empregado para atingir o objetivo proposto foi a Pesquisa Bibliográfica conhecida também como Teórico-Conceitual. Esse tipo de método é conduzido com base na literatura já existente, por meio de livros, artigos de periódicos e atualmente em materiais disponíveis na Internet (GIL, 2007). O resultado final deste método são textos, discussões, revisões bibliográficas e análises e/ou proposições conceituais a partir do que já foi publicado, sem a apresentação de dados empíricos (BERTO; NAKANO, 2012).

Deste modo esta pesquisa, com base na literatura existente sobre PmaisL e o método DMAIC, descreve suas principais características, estabelece como elas se relacionam e propõe a condução da PmaisL por meio do método DMAIC. As etapas de condução da pesquisa foram:

1. Pesquisa bibliográfica a cerca dos temas PmaisL e DMAIC nas referências clássicas e base de dados para a definição dos conceitos;
2. Análise da relação das etapas propostas pela estratégia de PmaisL e o método DMAIC;
3. Elaboração da proposta de condução do programa de PmaisL no método DMAIC.

Na próxima seção deste artigo será apresentada a análise e a proposta com base nos conceitos apresentados na Revisão Bibliográfica.

## **5. Análise e Proposta**

Na literatura consultada foi identificado que o método de implantação da PmaisL e o método DMAIC apresentam semelhanças, diferenças e pontos complementares. A primeira semelhança identificada foi a lógica de condução, pois ambos são ordenados por atividades que vão desde o planejamento, o qual busca definir e compreender o problema a ser resolvido e programar como as tarefas serão cumpridas (recursos necessários, cronograma, etc.), até a etapa de controle, na qual almeja-se a sustentabilidade das soluções implantadas.

Outro ponto de concordância é a grande ênfase dada no planejamento, pois antes de ser implementada qualquer ação são realizadas análises de viabilidade e as causas raízes dos problemas identificados, para que a solução escolhida para ser implantada seja realizada efetivamente. Além disso, ressalta-se tanto na PmaisL quanto no DMAIC que o objetivo é compreender os processos, diagnosticá-los, fazer análises e sempre averiguar as causas e os efeitos das ações. Nota-se também que o foco geral de ambos é realizar um processo de mudança que resultem em melhorias, porém diferem no alvo principal, pois o da PmaisL é a redução dos impactos ambientais, enquanto o DMAIC busca, principalmente, aumento de produtividade, redução de custo e redução de defeitos.

A distinção dos dois pode ser encontrada também em como são iniciadas, uma vez que o DMAIC começa a partir de um problema mais específico, já a PmaisL aborda a questão de reduzir o impacto ambiental de maneira mais geral, em que os problemas específicos serão identificados depois de algumas análises. Ainda, o DMAIC possui uma abordagem mais quantitativa e disciplinada visando à melhoria de indicadores definidos nos processos produtivos, sendo mais sistemático que a metodologia de implementação da PmaisL. Na figura 3 pode ser visualizada a proposta de condução da PmaisL por meio do DMAIC.

Fases	Atividades
<b>Define</b>	Descrever o problema do projeto.
	Avaliar como a questão ambiental influencia no retorno econômico e como impacta sobre os <i>stakeholders</i> e na estratégia da empresa.
	Avaliar se o projeto é prioritário para a unidade de negócio e se será patrocinada pelos gestores envolvidos.
	Obter o comprometimento da alta gerência.
	Obter o envolvimento dos funcionários.
	Definir os participantes do Ecotime e suas responsabilidades, as possíveis restrições e suposições.
	Desenvolvimento de uma política de PmaisL.
	Traçar objetivos e metas.
	Identificar as barreiras e soluções.
	Definir o escopo e a ênfase da PmaisL.
	Estabelecer um cronograma para a PmaisL.
<b>Measure</b>	Descrever a empresa.
	Acompanhar o processo do início ao fim.
	Planejar a coleta de dados.
	Preparar e testar os sistemas de Medição/Inspeção.
	Coleta das informações básicas do processo.
	Elaboração de um fluxograma do processo.
	Elaboração de um balanço de massa preliminar de energia e materiais.
	Coleta dos dados quantitativos dos processos.
	Elaboração do balanço de massa detalhado de energia e materiais.
	Analisar o impacto das várias partes dos problemas identificados e identificar os problemas prioritários.
<b>Analyze</b>	Estudar as variações dos problemas prioritários identificados.
	Estabelecer a meta para cada problema prioritário.
	Analisar o processo gerador do problema prioritário.
	Analisar os dados do problema prioritário e de seu processo gerador.
	Identificar e organizar as causas potenciais do problema prioritário.
	Avaliação das causas identificadas.
	Priorizar as causas potenciais do problema prioritário.
	Quantificar a importância das causas potenciais prioritárias (determinar as causas raízes).
	Identificação das oportunidades de PmaisL.
	Registro e Seleção das oportunidades.
<b>Improve</b>	Análise preliminar.
	Análise de viabilidade técnica.
	Análise de viabilidade econômica.
	Análise de viabilidade ambiental.
	Seleção das alternativas viáveis.
<b>Control</b>	Preparação de um plano de implementação.
	Priorizar as soluções potenciais.
	Avaliar e minimizar os riscos das soluções.
	Testar em pequena escala as soluções selecionadas, caso necessário.
	Elaborar e executar um plano para a implementação das soluções em larga escala.
<b>Control</b>	Implementação das opções selecionadas.
	Avaliar o alcance da meta em larga escala.
	Medição do desempenho ambiental alcançado.
	Buscar a sustentabilidade das atividades de P+L.
	Padronizar as alterações realizadas no processo em consequência das soluções adotadas.
	Transmitir os novos padrões a todos os envolvidos.
	Definir e implementar um plano para medição do desempenho do processo e do alcance da meta.
	Definir e implementar um plano para tomada de ações corretivas caso surjam problemas no processo.
	Sumarizar o que foi aprendido e fazer recomendações para trabalhos futuros.

FIGURA 3- Método DMAIC para a PmaisL. Fonte: Adaptado de WERKEMA (2004) e UNEP (2004).

O ponto complementar observado está na maneira como o DMAIC pode aprimorar a implantação da PmaisL pois, como aponta Pande, Neuman e Cavanagh (2001), ele orienta a implementação de qualquer projeto de melhoria de processo ou projeto e é considerado um método científico para implantação de melhorias e tomada decisão.

Desta maneira a implementação da PmaisL poderá ocorrer de maneira mais sistemática, ou seja, avaliando melhor o projeto e detalhando mais o problema. A aplicação do método DMAIC para a implantação da PmaisL pode avaliar melhor o projeto por meio da avaliação do impacto da questão ambiental para os *stakeholders* e estratégia da empresa, analisando a prioridade do projeto e também através da implantação de Sistemas de Medição para medir o desempenho ambiental alcançado. O detalhamento do problema pode ocorrer por meio da análise do impacto do problema, estudo das variações do problema, análise do processo gerador do problema e da identificação e avaliação das causas raízes dos problemas prioritários.

Além disso, na ultima fase “*Control*” o DMAIC pode complementar com as seguintes atividades: padronizar as alterações realizadas, transmitir os novos padrões a todos os envolvidos, definir um plano para medir o desempenho do processo e do alcance da meta, definir um plano de ações corretivas para possíveis problemas que surjam no processo e por fim, sumarizar o que foi aprendido e fazer recomendações para os próximos projetos.

Como mostrado na Figura 3 a proposta é que algumas atividades da PmaisL sejam incrementadas por outras do DMAIC e fiquem organizadas nas fases *Define, Measure, Analyze e Control*. Ainda, o problema a ser resolvido em um DMAIC para a promoção da PmaisL seria o foco na melhoria do desempenho ambiental, ou seja, redução de resíduos, redução de desperdícios com materiais, redução no consumo de energia, redução no consumo de água, entre outros impactos ambientais.

Os possíveis benefícios que esta proposta pode gerar são que o DMAIC pode auxiliar no aprimoramento da sistematização e a estruturação da PmaisL, pode permitir que os passos da PmaisL sejam mais detalhados e ainda pode facilitar a integração da PmaisL com as outras áreas da empresa.

## 6. Considerações finais

Esta pesquisa questionou a possibilidade de alinhar as etapas da Produção mais Limpa em DMAIC e mesmo com algumas diferenças encontradas foi possível constatar que é possível, pois há muitas semelhanças e o DMAIC pode complementar a PmaisL.

O método DMAIC como um importante meio para a solução de problemas e gestão de mudanças apresenta significativo potencial de aplicação na área ambiental, especificamente na implantação e condução de projetos de PmaisL.

Assim, o objetivo foi alcançado, pois por meio das características de ambos tornou-se possível a elaboração da proposta. A partir da elaboração desta proposta, espera-se colaborar para a geração de métodos que integrem as questões ambientais com todas as áreas da empresa e também que a aplicação da PmaisL seja aprimorada.

O método de pesquisa foi apropriado para cumprir o objetivo proposto nesta pesquisa. O presente trabalho pode contribuir como um guia inicial para a implantação de projetos de PmaisL ou para gestão das mudanças ocorridas por esta estratégia adotando-se o método DMAIC no meio empresarial e também para o meio acadêmico e científico no sentido de



iniciar uma discussão para futuras pesquisas e possíveis melhorias para a estratégia PmaisL e para toda a área de gestão ambiental empresarial.

Por fim, vale ressaltar que esta pesquisa limitou-se em uma análise teórica. Assim, sugere-se, para trabalhos futuros, a aplicação da proposta em casos reais a fim de validar, testar e aprimorar o que foi apresentado.

## 7. Agradecimentos

Os pesquisadores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro tornando possível a realização desta pesquisa.

## Referências

- BARBIERI, J. C. *Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.
- BERTO, R. M. V. S.; NAKANO, D. Revisitando a produção científica nos anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção. In: *Produção*. Recebido 07/12/2010; Aceito 27/04/2012. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132013005000007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132013005000007&script=sci_arttext)>. Acesso em: 11 abr. 2013.
- 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. Escola de Engenharia de São Carlos, 2007.
- CALIA, R. C.; GUERRINI, F. M.; CASTRO, M. *The impact of Six Sigma in the performance of a Pollution Prevention program*. In: *Journal of Cleaner Production*. Nº 17, p. 1303–1310, 2009.
- CEBEDS- Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. *Guia de produção mais limpa*. Disponível em <<http://www.cebds.org.br/media/uploads/pdf-capas-publicacoes-cebds/ecoeficiencia/guia-pratico-implementacao-metodologia-pmaisl.pdf>> Acesso em 12 jun. 2013.
- CLETO, M. G. QUINTEIRO, L. Gestão de Projetos através do DMAIC: Um estudo de caso na indústria automotiva. In: *Revista Produção Online*, v. 11, n. 1, p. 210-239, 2011.
- FRESNER, J. Cleaner production as a means for effective environmental Management. In: *Journal of Cleaner Production*, 1998.
- GETZNER, M. The quantitative and qualitative impacts of clean technologies on employment. In: *Journal of Cleaner Production*, n.10 p. 305–319, 2002.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- MAST, J.; LOKKERBOL, J. An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. In: *International Journal Production Economics*, n.139, p.604–614, 2012.
- MEDEIROS, D. D. ; CALÁBRI, F. A.; SILVA, G. C. S.; FILHO, J. C. G. Aplicação da Produção mais Limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua. In: *Produção*, v. 17, n. 1, p. 109-128, Jan./Abr. 2007.
- OLIVEIRA, J. A. *Um estudo sobre a relação dos Sistema de Gestão Ambiental ISO 14001 com a adoção de procedimentos de Produção Mais Limpa em empresas industriais brasileiras*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2011.
- PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. *Estratégia Seis Sigma como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho*. 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. A implementação dos projetos seis sigma contribuindo para o direcionamento estratégico e para o aprimoramento do sistema de medição de desempenho. In: *Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção*, n.1, p. 1-14, dez. 2003.

SENAI- Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. *Implementação de Programas de Produção mais Limpa*. Porto Alegre, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/ UNIDO/INEP, 42 p., 2003.

SILVA, D. A. L.; DELAI, I.; CASTRO, M. A. S.; OMETTO, A. R. Quality tools applied to Cleaner Production programs: a first approach toward a new methodology. In: *Journal of Cleaner Production*, n. 47 p.174-187, 2013.

UNEP- United Nations Environment Programme. *Guidance Manual: How to Establish and Operate a Cleaner Production Centre*. Austria, 2004. Disponível em <http://www.unep.fr/scp/publications/details.asp?id=WEB/0072/PA> Acesso em: 12 jun 2013.

WERKEMA, M. C. C. *Criando a cultura Seis Sigma*. Nova Lima: Werkema, 2004.

ZENG, S. X.; MENG, X. H.; YIN, H. T.; TAMB, C. M.; SUN, L. Impact of cleaner production on business performance. In: *Journal of Cleaner Production*, v. 18, p. 975-983, 2010.