



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Tecnologia e Ciências

Instituto de Química

Paula Martins de Souza

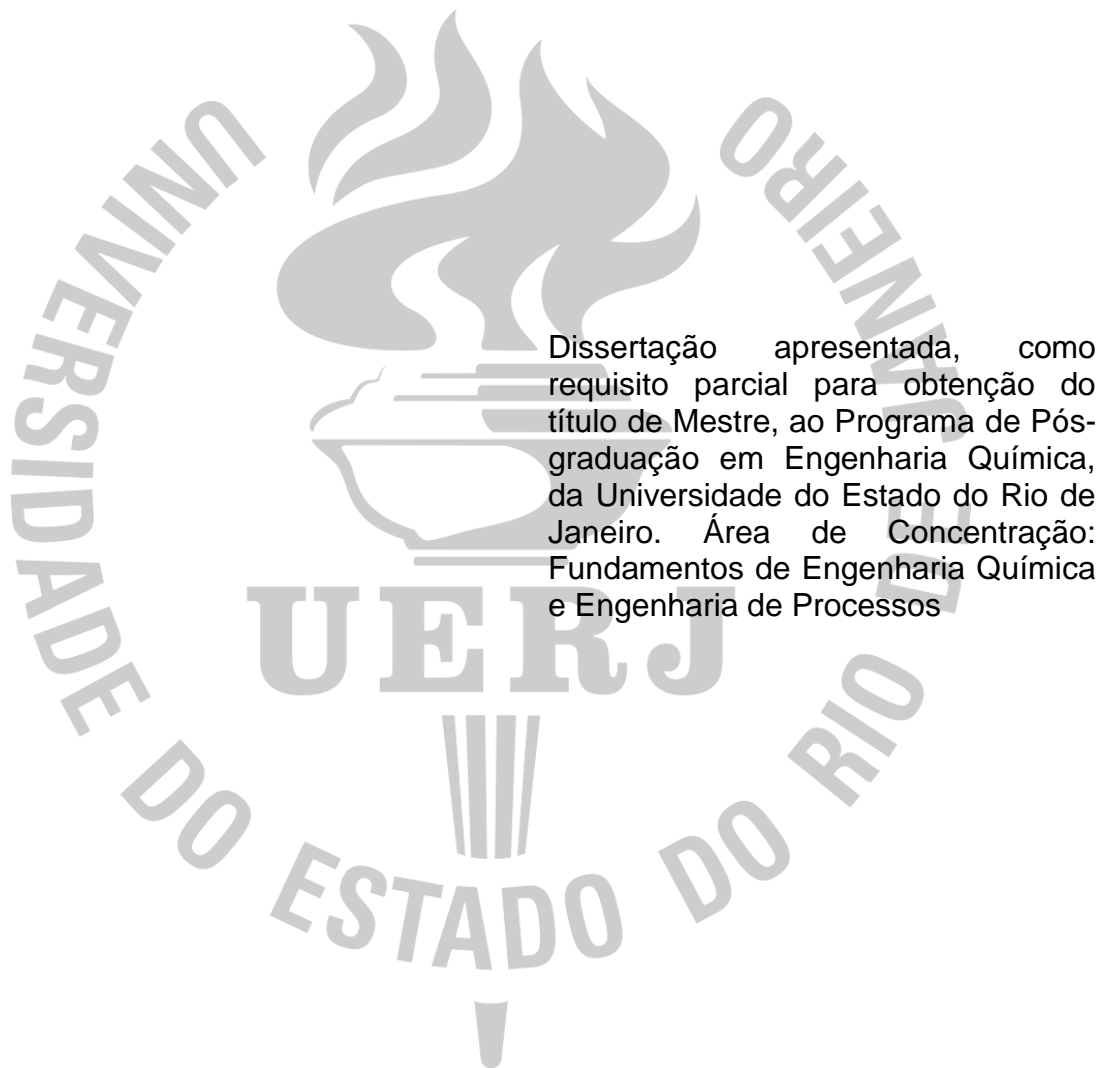
**Proposição de um indicador global de meio ambiente por meio de uma ferramenta de tomada de decisão multicritério: estudo de caso em uma indústria produtora de insumos para refino de petróleo**

Rio de Janeiro

2017

Paula Martins de Souza

**Proposição de um indicador global de meio ambiente por meio de uma ferramenta de tomada de decisão multicritério: estudo de caso em uma indústria produtora de insumos para refino de petróleo**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Fundamentos de Engenharia Química e Engenharia de Processos

Orientador: Prof.º Dr. Marco Antonio Gaya de Figueiredo

Rio de Janeiro

2017

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ/REDE SIRIUS/CTC/Q

S729 Souza, Paula Martins de

Proposição de um indicador global de meio ambiente por meio de uma ferramenta de tomada de decisão multicritério: estudo de caso em uma indústria produtora de insumos para refino de petróleo. / Paula Martins de Souza. – 2017.

164 f.

Orientador: Marco Antonio Gaya de Figueiredo  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Química.

1. Gestão ambiental- Teses. 2. Modelagem de dados – Teses. 3. Petróleo - Refinação – Teses I. Figueiredo, Marco Antonio Gaya de II.. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Química. III. Título.

CDU 502.13

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese.

---

Assinatura

---

Data

Paula Martins de Souza

**Proposição de um indicador global de meio ambiente por meio de uma ferramenta de tomada de decisão multicritério: estudo de caso em uma indústria produtora de insumos para refino de petróleo**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Processos Químicos, Petróleo e Meio Ambiente

Aprovada em 28 de agosto de 2017

---

Prof.º Dr. Marco Antonio Gaya de Figueiredo (Orientador)

Instituto de Química - UERJ

Banca Examinadora:

---

Prof.ºDr. Andre Luiz Alberton

Instituto de Química - UERJ

---

Prof.ª Dra. Márcia Monteiro Machado Gonçalves

Instituto de Química - UERJ

---

Dra. Erika Batista Silveira

Instituto Nacional de Tecnologia

Rio de Janeiro

2017

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmã que me fornecem todo o suporte necessário para me dedicar exclusivamente ao meu desenvolvimento pessoal e profissional. Sou muito privilegiada em ter vocês!

Ao meu pai, grande orgulho e referência pessoal e profissional para mim, que desde sempre valorizou meus estudos, fazendo tudo para me dar a melhor educação.

À toda a minha família, pela torcida e incentivo de sempre! Vocês são minha base e onde eu recarrego minhas forças.

Ao meu noivo, Daniel, grande companheiro nessa jornada desde o início da faculdade. Muito obrigada por estar ao meu lado, nas vitórias e nas crises, e por sonhar comigo.

Ao meu orientador, Gaya, que se tornou um amigo que me orienta para a vida. Obrigada por me mostrar um caminho tão interessante que antes eu não vislumbrava e já me trouxe grandes frutos.

À empresa que me possibilitou realizar o estudo de caso, disponibilizando suas informações e recursos, e em especial ao Abílio pelo suporte ao longo do trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, e a todos os seus professores, que dividiram comigo seu conhecimento e sempre foram solícitos a qualquer chamado. Em especial ao professor André Hemerly, que me incentivou a me inscrever no mestrado em um momento conturbado de final de faculdade.

Aos professores do COPPEAD, Marcos Avila e Celso Lemme, que me receberam muito bem e ajudaram a complementar a minha formação.

Aos meus amigos, Jéssica, Marcel, Patrícia, Priscila, e tantos outros, que ajudaram a tornar mais leve esse caminho.

A vida é uma combinação de destino e livre-arbítrio. A chuva é o destino, a possibilidade de se molhar ou não é escolha sua.

*Sri Sri Ravi Shankar*

## RESUMO

SOUZA, P. M. *Proposição de um indicador global de meio ambiente por meio de uma ferramenta de tomada de decisão multicritério: estudo de caso em uma indústria produtora de insumos para refino de petróleo*. 2017. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

A preocupação com o meio ambiente é cada vez mais relevante para a indústria. Assim, a Gestão Ambiental como um processo contínuo, preconizado pelo conjunto de normas ISO 14000 e sua metodologia PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), faz parte do dia a dia de um número cada vez maior de empresas. O monitoramento ambiental através de indicadores é fundamental para analisar o desempenho da empresa e sua evolução ao longo do tempo, influenciando na qualidade da tomada de decisão dos gestores e na competitividade da empresa. O objetivo desse trabalho foi desenvolver um modelo multicritério para priorização de indicadores e obtenção de um Índice de Meio Ambiente para simplificar a gestão dos indicadores ambientais de uma empresa e ser uma forma de monitorar sua eficiência e evolução ao longo do tempo. Para isso foi realizado um estudo de caso com uma indústria produtora de insumos para o refino de petróleo que monitora sua performance ambiental com indicadores de efluentes líquidos, resíduos sólidos e emissões atmosféricas. A priorização dos critérios e indicadores foi realizada por uma equipe de especialistas da empresa por meio da combinação das técnicas de tomada de decisão Método da Soma Ponderada (MSP) e Análise Hierárquica de Processos (AHP). O Índice de Meio Ambiente permite uma visão sintética dos resultados de 26 indicadores ambientais da companhia avaliados sob a ótica de 12 critérios, os quais pertencem a quatro áreas diferentes de interesse (Técnico, Socioambiental, Financeiro e Estratégico). Os critérios com maior priorização foram o Efeito na Qualidade do Produto (26%) e na Saúde do Trabalhador (15%) e os indicadores com maior importância foram os de emissões atmosféricas (41%). O Índice de Meio Ambiente foi estratificado em um Índice de Qualidade Ambiental e um Índice de Desempenho Ambiental, de acordo com o objetivo informacional do indicador, e em efluentes líquidos, resíduos sólidos e emissões atmosféricas de acordo com seu tipo. A análise realizada considerou um período de 5 anos, onde o Índice de Meio Ambiente, que deve ser minimizado, alcançou um valor médio de 34,13%, operando em uma faixa de controle de 45,52% a 22,74%. O valor mínimo foi alcançado em 2013 (27,57%) e o último resultado, em 2015, atingiu 35,80%. Para auxiliar o gestor no monitoramento dos resultados e incentivar a equipe a minimizar os impactos ambientais, foi estabelecida uma meta anual (30,72%), com base na análise estatística do histórico dos resultados. O índice é uma forma de obter uma visão sistêmica dos resultados dos indicadores ambientais e guiar o tomador de decisão em uma determinada direção com a identificação dos pontos de maior relevância para a companhia.

Palavras-chave: Indicador. Meio Ambiente. AHP. MSP. Gestão Ambiental.

## ABSTRACT

SOUZA, P. M. *Proposition of a global indicator of environmental through a multicriterary decision-making tool: case study in an industry that produces inputs for oil refining*. 2017. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

The concerning about environmental becomes increasingly relevant to industry. Therefore, Environmental Management as a continuous process, using ISO 14000 as a management tool and PDCA's methodology (Plan, Do, Check, Act), is part of the daily life of a growing number of companies. Environmental monitoring through indicators is fundamental to analyze the performance of the company and its evolution over time, having influence on manager's decision-making quality and on company's competitiveness. The objective of this work is to develop a multicriteria model for prioritization of indicators and obtaining an Environmental Index to simplify the management of environmental indicators of a company and be a way to monitor their efficiency and evolution over time. A case study was conducted with an industry that produces inputs for oil refining and monitors its environmental performance with indicators of liquid effluents, solid waste and atmospheric emissions. The prioritization of the criteria and indicators was performed by a team of experts from the company through the combination of decision making techniques Weighted Sum Method (WSM) and Analytic Hierarchy Process (AHP). The Environmental Index allows a synthetic view of the results of the company's 26 environmental indicators evaluated from 12 criteria, which belong to four different areas of interest (Technical, Socio-environmental, Financial and Strategic). The criteria with the highest priority were the Effect on Product Quality (26%) and on Worker's Health (15%), and the most important indicators were the atmospheric emissions (41%). The Environmental Index was stratified into an Environmental Quality Index and an Environmental Performance Index, according to the informational objective of the indicator, and in liquid effluents, solid wastes and atmospheric emissions according to their type. The analysis considered a period of 5 years, where the index, which should be minimized, reached an average value of 34.13%, operating in a control range from 45.52% to 22.74%. The minimum value was reached in 2013 (27.57%) and the last result in 2015 reached 35.80%. In order to assist the manager in monitoring results and encouraging staff to minimize environmental impacts, an annual target (30.72%) was established, based on the statistical analysis of the results. The index is a way to obtain a systemic view of the results of the environmental indicators and to guide the decision maker in a certain direction with the identification of the most relevant points for the company.

Keywords: Indicator. Environment. AHP. WSM. Environmental management.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Vantagem para engajamento da empresa em práticas ambientalmente sustentáveis.....	29
Figura 2-	Principais desafios para implantação de práticas sustentáveis na empresa.....	30
Figura 3-	Certificados válidos ABNT NBR ISO 14001 de empresas nacionais por estado (set/2016).....	33
Figura 4-	Emissão de certificados ABNT NBR ISO 14001 por empresas nacionais e estrangeiras.....	34
Figura 5-	Ciclo PDCA.....	37
Figura 6-	Categorias de Indicadores ABNT NBR ISO 14001.....	44
Figura 7-	Pirâmide da Informação.....	46
Figura 8-	Estrutura IDA.....	49
Figura 9-	Níveis de Tomada de Decisão em uma Organização.....	58
Figura 10-	Distribuição anual de artigos em gerenciamento de operações com uso da AHP.....	65
Figura 11-	Regiões de Aplicação da AHP.....	66
Figura 12-	Estrutura Hierárquica Genérica AHP.....	68
Figura 13-	Fluxograma AHP.....	69
Figura 14-	Matriz de Preferências Genérica.....	70
Figura 15-	Matriz de Preferência de Critérios Genérica.....	71
Figura 16-	Matrizes de Preferência de Subcritérios Genéricas.....	71
Figura 17-	Matriz de Preferência das Alternativas Genérica.....	71
Figura 18-	Matriz de Preferência de Critérios Genérica Normalizada.....	72
Figura 19-	Cálculo Autovetor Genérico.....	73
Figura 20-	Divisão Indicadores de Meio Ambiente.....	85
Figura 21-	Divisão Indicadores de Qualidade Ambiental.....	86
Figura 22-	Divisão Indicadores de Desempenho Ambiental.....	86
Figura 23-	Distribuição normal.....	91
Figura 24-	Estrutura Hierárquica AHP.....	92
Figura 25-	Estrutura Índice de Meio Ambiente.....	94
Figura 26-	Metodologia.....	96
Figura 27-	Resultado da priorização dos critérios com AHP.....	97

Figura 28-	Priorização dos subcritérios Técnicos com AHP.....	98
Figura 29-	Priorização dos subcritérios Socioambientais com AHP.....	99
Figura 30-	Priorização dos subcritérios Estratégicos com AHP.....	99
Figura 31-	Priorização dos subcritérios Financeiros com AHP.....	100
Figura 32-	Prioridade Global dos Subcritérios com AHP.....	101
Figura 33-	Prioridade Final dos Índices com AHP.....	104
Figura 34-	Índice de Desempenho Ambiental - Efluentes Líquidos.....	106
Figura 35-	Índice de Desempenho Ambiental - Resíduos Sólidos.....	106
Figura 36-	Índice de Desempenho Ambiental - Emissões Atmosféricas.....	106
Figura 37-	Índice de Qualidade Ambiental - Efluentes Líquidos.....	108
Figura 38-	Índice de Qualidade Ambiental - Resíduos Sólidos.....	108
Figura 39-	Índice de Qualidade Ambiental - Emissões Atmosféricas....	109
Figura 40-	Resultados Índice de Desempenho Ambiental.....	113
Figura 41-	Resultados Índice de Qualidade Ambiental.....	115
Figura 42-	Resultados Índice de Meio Ambiente.....	116
Figura 43-	Gestão Índice de Meio Ambiente.....	118
Figura 44-	Gestão Índice de Desempenho Ambiental.....	118
Figura 45-	Gestão Índice de Qualidade Ambiental.....	119

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Acidentes em Indústrias Químicas.....	20
Tabela 2-	Linha do Tempo – Principais acontecimentos ambientais...	22
Tabela 3-	Linha do Tempo – Legislação Brasileira.....	24
Tabela 4-	Participação Regional na quantidade de certificados ISO 14001.....	35
Tabela 5-	Países com maior número de certificados ISO 14001 em 2014.....	35
Tabela 6-	Critérios da OECD para selecionar um indicador ambiental	41
Tabela 7-	Índices Revisão Bibliográfica.....	52
Tabela 8-	Escala de Preferências AHP.....	70
Tabela 9-	Índice de Consistência Aleatória.....	74
Tabela 10-	Critérios e Subcritérios.....	81
Tabela 11-	Indicadores de Desempenho Ambiental.....	87
Tabela 12-	Indicadores de Qualidade Ambiental.....	88
Tabela 13-	Avaliação dos Índices em cada subcritério.....	102
Tabela 14-	Indicadores de Desempenho Ambiental - Unidade e faixa de trabalho.....	110
Tabela 15-	Indicadores de Qualidade Ambiental - Unidade e faixa de trabalho.....	111
Tabela 16-	Resultados Indicadores de Desempenho Ambiental.....	112
Tabela 17-	Resultados Indicadores de Qualidade Ambiental.....	114
Tabela 18-	Resultados Índice de Meio Ambiente.....	116
Tabela 19-	Proposta Gestão dos Índices.....	117

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADA	Avaliação de Desempenho Ambiental
AHP	Análise Hierárquica de Processos
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
BACEN	Banco Central do Brasil
CEFTRU/UNB	Centro Interdisciplinar de Estudos em Transportes Urbanos
CENSE	Centro de Investigação em Ambiente e Sustentabilidade
CIEP	<i>Composite Index of Environmental Performance</i>
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRITIC	<i>Criteria Importance Through Intercriteria Correlation</i>
DAOE	Desempenho Ambiental em Operações Empresariais
DPSEEA	<i>Driving Force–Pressure–State–Exposure–Effect–Action</i>
EIA/Rima	Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental
ELECTRE	<i>Elimination et Choix Traduisant la Réalité</i>
EMAS	<i>Eco-Management and Audit Scheme</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPI	<i>Environmental Performance Index</i>
ETRI	Estação de Tratamento de Resíduos Industriais

FCT-UNL	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
GEE	Gases de Efeito Estufa
GHG	<i>Greenhouse Gas</i>
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GRI	<i>Global Reporting Initiative</i>
HSE	<i>Health and Safety Executive</i>
IA	Índice de Consistência Aleatória
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IC	Índice de Consistência
ICA	Indicador de Condição Ambiental
ICD	Índice Consolidado de Desempenho
IDA	Indicador de Desempenho Ambiental
IDG	Indicador de Desempenho Gerencial
IDO	Indicador de Desempenho Operacional
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IES	Instituto de Engenharia Sanitária
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IQA	Índice de Qualidade das Águas

ISE	Índice de Sustentabilidade Empresarial
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISO 14001 para uso	Sistemas de Gestão Ambiental – Requisitos com orientações
ISO 14031	Avaliação do Desempenho Ambiental – Diretrizes
KPI	<i>Key Performance Indicators</i>
LC	Limite de Controle
LIC	Limite Inferior de Controle
LSC	Limite Superior de Controle
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>
MAMD	Métodos de Apoio Multicritério à Decisão
MAUT	<i>Multi-Attribute Utility Theory</i>
MCDA	<i>Multicriteria Decision Aid</i>
MCDM	<i>Multicriteria Decision Making</i>
MDA	Medição de Desempenho Ambiental
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MSP	Método de Soma Ponderada
NADIR	Ponto Anti-Ideal
OECD	Organização de Desenvolvimento e Cooperação Econômica
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONGS	Organizações Não Governamentais
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
PER	Pressão-Estado-Resposta
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PO	Pesquisa Operacional
PROCON	Programa de Auto-controle
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation</i>
RNFT	Resíduo Não Filtrado Total
RSG	Resíduo de Serviço Geral
SEMA	Secretaria Especial de Meio Ambiente
SERLA	Superintendência Estadual de Rios e Lagoas
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SLAP	Sistema de Licenciamento das Atividades Poluidoras
SST	Sólidos em Suspensão Total
SUDEPE	Superintendência do Desenvolvimento da Pesca
SUDHEVEA	Superintendência da Borracha
SURSAN	Superintendência de Urbanização e Saneamento
TC	Taxa de Consistência
TCDD	Tetracloro-Dibenzo-Dioxina
TOPSIS	<i>Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution</i>
UNIDO	<i>United Nations Industrial Development Organization</i>
WCED	<i>World Commission on Environment and Development</i>
WRI	<i>World Resources Institute</i>

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>1. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	19
1.1. <b>Meio ambiente</b> .....	19
1.1.1. <u>Histórico</u> .....	19
1.1.2. <u>Legislação</u> .....	24
1.1.3. <u>Gestão Ambiental</u> .....	28
1.2. <b>Indicadores</b> .....	38
1.2.1. <u>Definição</u> .....	38
1.2.2. <u>Indicador ambiental</u> .....	41
1.2.3. <u>Índices</u> .....	45
1.3. <b>A teoria da decisão e os métodos multicritérios</b> .....	53
1.3.1. <u>Decisão nas organizações</u> .....	53
1.3.2. <u>Métodos de Apoio Multicritério à Decisão (MAMD)</u> .....	59
1.3.3. <u>Método Análise Hierárquica de Processos (AHP)</u> .....	67
1.3.4. <u>Método da Soma Ponderada (MSP)</u> .....	75
<b>2. METODOLOGIA</b> .....	77
2.1. <b>Tipo de pesquisa</b> .....	77
2.2. <b>Aspectos gerais da empresa estudada</b> .....	78
2.3. <b>Identificação dos tomadores de decisão</b> .....	79
2.4. <b>Identificação dos critérios e subcritérios</b> .....	79
2.5. <b>Identificação dos indicadores</b> .....	84
2.6. <b>Determinação da importância relativa dos critérios e subcritérios</b> ..	91
2.7. <b>Avaliação dos indicadores em relação aos subcritérios</b> .....	93
2.8. <b>Determinação dos índices</b> .....	94
<b>3. RESULTADO E DISCUSSÕES</b> .....	97
3.1. <b>Priorização dos critérios e subcritérios – Técnica AHP</b> .....	97
3.2. <b>Priorização dos indicadores – Técnica MSP</b> .....	105
3.3. <b>Determinação dos índices</b> .....	110
<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES</b> .....	120
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	124
<b>APÊNDICE A – Questionário</b> .....	130



<b>APÊNDICE B – Resultados AHP.....</b>	<b>136</b>
<b>APÊNDICE C – Resultados MSP.....</b>	<b>147</b>
<b>APÊNDICE D – Análise estatística.....</b>	<b>153</b>

## INTRODUÇÃO

- **Considerações gerais**

O impacto ambiental é intrínseco às atividades industriais. Concomitante a produção, ocorre a emissão de poluentes na atmosfera, de efluentes líquidos e resíduos sólidos. A grande dificuldade é encontrar o ponto ótimo entre maximizar os lucros da produção e minimizar os riscos e impactos ambientais. Isso se torna ainda mais importante com o aumento da consciência ambiental da sociedade como um todo. (FIRJAN, 2008)

Após a ocorrência de diversos acidentes na indústria com consequências negativas para o meio ambiente, houve a criação de legislações ambientais que regulamentam o setor. Isso impulsionou a indústria a investir na gestão ambiental de forma preventiva. (DE MARTINI e GUSMÃO, 2009)

As organizações passaram a ter sua própria política ambiental e a adotar ferramentas de gerenciamento nessa área. (MAZZI, *et al.*, 2016) A questão ambiental se tornou estratégica porque possui relação direta com a imagem da empresa perante o público, seu desempenho financeiro e sua competitividade. (OLIVEIRA, SERRA e SALGADO, 2010)

Uma vez que, segundo o estatístico e professor universitário William Edwards Deming, não se pode gerenciar o que não se mede, o monitoramento contínuo de indicadores é fundamental para o sucesso do programa de gestão ambiental. A partir dos indicadores é possível identificar e corrigir desvios, analisar suas causas e sugerir propostas de melhoria. (CAMPOS e MELO, 2008) Ao observar séries históricas é possível ter uma visão analítica do estado do ambiente, o que contribui como base para a tomada de decisão. (EEA, 2014)

Todavia, uma quantidade muito grande de indicadores pode dificultar o gerenciamento da operação. Assim, uma avaliação conjunta de um grupo de indicadores possibilita uma visão sistêmica do desempenho da companhia. (RAFAELI e MULLER, 2007)

Segundo o princípio de Pareto, geralmente 80% das consequências são provenientes de 20% das causas, o que estimula a priorização desses indicadores para direcionar os investimentos em ações que tenham maior repercussão. As

técnicas de auxílio a tomada de decisão ajudam na estruturação do problema de priorização e no alcance da melhor solução diante de diferentes critérios.

Dentro desse cenário, a pesquisa científica possui fundamental importância para a indústria com a realização de estudos que avaliem os indicadores e critérios adotados, as metodologias de priorização dos mesmos e os resultados da sua aplicação na gestão ambiental.

Com base nisso, a presente dissertação propõe a construção de um modelo para medir a eficiência da gestão dos indicadores ambientais de uma organização com base na priorização de critérios e indicadores para formação de um índice de meio ambiente.

Será realizado um estudo de caso com uma indústria química produtora de insumos para refino de petróleo que possui destaque no seu ramo de atuação. A empresa foi escolhida não só pela sua relevância na área, como também pela sua preocupação com a área ambiental. Existem dados operacionais confiáveis e uma série histórica que permite calcular o índice para um intervalo de tempo e avaliar suas variações. Além disso, a companhia possui um grupo de especialistas heterogêneo disposto a contribuir com a pesquisa.

- **Objetivo Geral**

O objetivo geral da presente dissertação é desenvolver um modelo multicritério para priorização de indicadores e obtenção de um índice de meio ambiente. A aplicação dessa ferramenta permite a simplificação da gestão dos indicadores ambientais na organização e é uma forma de analisar sua evolução ao longo do tempo.

- **Objetivos específicos**

Para o atingir o objetivo geral algumas metas específicas são definidas:

- a) Identificar junto aos especialistas e na revisão da literatura, critérios e indicadores que representem a gestão dos indicadores ambientais de uma organização;

- b) Identificar na literatura um método de apoio a tomada de decisão que seja coerente com a priorização de critérios e indicadores;
- c) Obter um índice que caracterize o estado da companhia sob o aspecto ambiental;
- d) Analisar os impactos que mais contribuem para prejudicar o meio ambiente, de acordo com a empresa analisada no estudo de caso.

- **Estrutura da dissertação**

A introdução contextualiza a temática do estudo apresentando o problema, sua origem e relevância. Também define os objetivos gerais e específicos do trabalho de pesquisa e sua estrutura de apresentação.

O capítulo 1 contém a revisão da literatura onde são apresentados conceitos relacionados ao histórico da questão ambiental e sua legislação, a gestão ambiental realizada pelas organizações, a relevância do uso de indicadores e os benefícios de se obter um índice, além de abordar a teoria da decisão e os métodos multicritérios que auxiliam a tomada de decisão.

O capítulo 2 aborda a metodologia utilizada no trabalho, apresenta a empresa aonde o estudo de caso foi aplicado e todas as etapas para obtenção do índice de meio ambiente, desde a identificação dos tomadores de decisão, dos critérios e dos indicadores até sua priorização e cálculo do índice.

O capítulo 3 apresenta os resultados do estudo de caso, a discussão sobre a priorização dos indicadores e dos critérios e o comportamento do índice de meio ambiente ao longo dos anos.

A conclusão encerra o trabalho verificando o atendimento aos objetivos da pesquisa e faz recomendações para estudos futuros que abordem a mesma temática.

Em seguida são apresentadas as referências bibliográficas adotadas na dissertação e os apêndices com os questionários utilizados no estudo de caso e os dados relativos a ele.

## 1. REVISÃO DA LITERATURA

### 1.1. Meio ambiente

#### 1.1.1. Histórico

A Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (FIRJAN) expressa a dualidade das atividades industriais: ao mesmo tempo em que elas possibilitam a produção de bens e a geração de empregos, utilizam recursos naturais e geram resíduos. Segundo a FIRJAN, o grande desafio seria conciliar a preservação ambiental com o aumento da pressão humana sobre o meio ambiente, que tem como limite a capacidade de regeneração dos ecossistemas. O aumento da população e do consumo determinam que novas soluções ambientais sejam criadas e que o planejamento e a tomada de decisão sejam influenciados. Nas últimas décadas, houve um aumento exponencial da conscientização ambiental pela sociedade, pelo governo e pelas empresas, gerando uma relevante discussão sobre o assunto. (FIRJAN, 2008)

A partir da década de 60 a sociedade começou a se preocupar mais com a questão ambiental, dando início a uma série de encontros de domínio mundial (MONTEIRO, CASTRO e PROCHNIK, 2003). A Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Humano aconteceu em Estocolmo na Suécia em 1972 com a presença de 113 países e mais de 400 instituições governamentais ou não governamentais. Como produto principal, a Declaração sobre o Ambiente Humano ou Declaração de Estocolmo definiu princípios para temas ambientais de escopo internacional promovendo o início da agenda ambiental e do direito ambiental internacional. Em decorrência da conferência, também foi criado o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED – sigla do inglês World Commission on Environment and Development) (TEIXEIRA, PAGANINE e GUEDES, 2012)

Em 1975 ocorreu em Belgrado o Seminário Internacional de Educação Ambiental, que abordou a situação ambiental mundial sob a ótica da educação. O

Seminário mostrou a necessidade urgente de alterações nos sistemas educativos para criação de uma nova ética. (MONTEIRO, CASTRO e PROCHNIK, 2003)

A imagem da indústria como provedora de desenvolvimento e benefícios, por meio da produção de bens e serviços, foi comprometida com o aumento da consciência do público sobre as questões ambientais. (DE MARTINI e GUSMÃO, 2009) A ocorrência de alguns acidentes em indústrias químicas e de petróleo, apresentados na Tabela 1, obteve grande repercussão na mídia e promoveu o desgaste da sua imagem.

Tabela 1 Acidentes em Indústrias Químicas

<b>Acidente</b>	<b>Número de Vítimas</b>	<b>Causa</b>	<b>Ano</b>
<b>Seveso (Itália)</b>	220.000 feridos	Vazamento de TCDD	1976
<b>Bhopal (Índia)</b>	3.800 mortos 200.000 feridos	Vazamento de metil isocianato	1984
<b>Cidade do México (México)</b>	490 mortos 700 feridos	Explosão de GLP	1984
<b>Cubatão (Brasil)</b>	500 mortos	Incêndio por vazamento de hidrocarbonetos líquidos	1984
<b>Exxon Valdez (Alasca)</b>	Centenas de milhares de animais	Vazamento de 44 milhões de litros de óleo	1989

Fonte: Adaptado de DE MARTINI e GUSMÃO (2009)

O acidente de Seveso em 1976 ocorreu por vazamento de tetracloro-dibenzo-dioxina (TCDD) devido ao rompimento de tanques de armazenamento da indústria química ICMESA, causando ferimentos em 220 mil pessoas. O desastre na fábrica da Union Carbide na cidade de Bhopal, em 1984, também ocorreu por vazamento, neste caso de metil isocianato, ferindo 200 mil pessoas e levando a óbito 3.800 pessoas. Este foi considerado o maior desastre industrial e químico, tendo como principal causa a negligência com a segurança. A ruptura de uma tubulação de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) ocasionou uma explosão na Cidade do México em 1984, gerando a morte de 490 pessoas além de 700 feridos em um centro de armazenamento e distribuição da Pemex. Por sua vez, o vazamento de hidrocarbonetos líquidos devido a uma falha operacional em um oleoduto da Petrobras em Cubatão gerou um incêndio com 500 vítimas fatais em 1984. Já o acidente com o navio petroleiro Exxon Valdez em 1989 liberou 44 milhões de litros

de óleo no Golfo do Alasca, matando centenas de milhares de animais. (DE MARTINI e GUSMÃO, 2009)

Uma consequência direta desses acidentes foi a criação de políticas públicas que promoveram a criação de legislação específica, atuando como um instrumento regulador do setor industrial. Agora o foco eram os riscos de impacto ambiental, o que exigiu que a indústria se dedicasse à gestão ambiental. (DE MARTINI e GUSMÃO, 2009)

De acordo com esse pensamento, no ano de 1987 a Comissão Brundtland cria o conceito de “desenvolvimento sustentável”, que prega “satisfazer as necessidades presentes sem comprometer a habilidade das gerações futuras em satisfazer suas próprias necessidades”. (MONTEIRO, CASTRO e PROCHNIK, 2003; FIRJAN, 2008)

Em 1992 foi realizada no Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Cnumad), mais conhecida como Rio-92, Eco-92 ou Cúpula da Terra com representantes de 178 países. A partir dela foram originadas a Convenção sobre Biodiversidade e a Convenção de Mudanças Climáticas, além da Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Declaração de Princípios sobre Florestas e a Agenda 21, importantes na prática do conceito de desenvolvimento sustentável uma vez que houve a conscientização da comunidade política internacional da necessidade de conciliar o desenvolvimento socioeconômico com o uso dos recursos naturais. Como resultado dos avanços promovidos pela conferência, o Protocolo de Kyoto em 1997 impôs metas claras para a redução na emissão de gases de efeito estufa. Todavia, sua ratificação implicou na necessidade de mudança da matriz energética dos países, acarretando em altos custos que não foram assumidos. Dez anos depois da Rio-92 ocorreu a Rio+10, Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento Sustentável em Johannesburgo, para rever as metas da Agenda 21. Após a conferência foi relevante o aumento da participação da sociedade civil na defesa de interesses ambientais. (TEIXEIRA, PAGANINE e GUEDES, 2012)

O código de conduta Princípios do Equador foi lançado no mesmo ano e se tornou um marco nas relações financeiras uma vez que sugeriu às instituições financeiras que elas avaliassem a questão socioambiental das empresas em que elas fossem investir ou ceder financiamentos. Essa medida teve grande adesão porque compreendeu-se que os bancos, ao financiarem o desenvolvimento de uma

atividade, possuem também responsabilidade sobre seu desempenho ambiental. (FIESP e PNUMA, 2015)

Vinte anos após a Rio-92 ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio Mais Vinte, com o objetivo de revigorar o compromisso com o desenvolvimento sustentável firmado anteriormente. Avaliando o progresso e as falhas desse período, a Conferência teve como temas principais a economia verde e a erradicação da pobreza. (RIO+20, 2012)

Os principais acontecimentos mundiais na área ambiental podem ser vistos de forma resumida na Tabela 2.

Tabela 2 Linha do Tempo – Principais acontecimentos ambientais

<b>Década</b>	<b>Principais Acontecimentos</b>
<b>1970</b>	1972 - Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (Estocolmo) Criação PNUMA
	1975 - Seminário Internacional de Educação Ambiental (Belgrado)
<b>1980</b>	1987 – Comissão Brundtland cria o termo desenvolvimento sustentável
<b>1990</b>	1992 - Realização da Rio-92 (Rio de Janeiro)
	1997 - Criação do Protocolo de Kyoto
<b>2000</b>	2002 - Realização da Rio +10 (Joanesburgo) Lançamento dos Princípios do Equador
<b>2010</b>	2012 - Realização da Rio + 20 (Rio de Janeiro)

Fonte: A autora, 2017.

Apesar das conferências das Nações Unidas serem direcionadas para a compreensão da questão ambiental pelos países, elas promoveram a mobilização da sociedade que por sua vez pressionou as empresas para que acompanhassem esse movimento também. Assim, as empresas começaram a internalizar em seus negócios a questão ambiental, sendo em alguns casos definida como estratégica. (MONTEIRO, CASTRO e PROCHNIK, 2003)

Anteriormente vista como uma barreira ao desenvolvimento industrial, o gerenciamento ambiental nas empresas passou a ser valorizada nos anos 1980 e 1990. A abordagem mudou ao perceber o gasto ambiental como investimento ao invés de custo. Com isso, a atitude das organizações mudou de defensiva e reativa,



apenas obedecendo a legislação, para proativa e preventiva, antecipando-se as regulamentações e tornando essa questão parte da sua visão estratégica. Com um escopo mais abrangente, as empresas passaram a gerenciar de forma cuidadosa o ciclo de vida de seus produtos e serviços. Empresas inovadoras passaram a ver o meio ambiente como uma questão que permitiria uma boa inserção no competitivo mercado internacional, por meio de participação acionária, filiais em outros países ou financiamentos com bancos estrangeiros. (CAMPOS e MELO, 2008; OLIVEIRA, *et al.*, 2016)

As décadas de negligência ambiental tentam ser revertidas por projetos que preservam o meio ambiente. A engenharia com foco ambiental pode influenciar diversos elementos da cadeia produtiva, desde produtores de matéria prima até indústrias e clientes. (OLIVEIRA, SERRA e SALGADO, 2010)

Atualmente, a responsabilidade ambiental se tornou um assunto relevante e multidisciplinar que afeta as políticas ambientais e os mercados. A maioria dos países adotou novas regulações e instrumentos econômicos, como taxas e permissões comerciais, além de ações voluntárias como certificações e relatórios ambientais. Por outro lado, as organizações criaram políticas ambientais e ferramentas de gerenciamento. Essas ações tem o objetivo de apoiar a sustentabilidade ambiental. (MAZZI, *et al.*, 2016)

Atividades comuns na rotina empresarial, como fusões, incorporações, privatizações ou alianças estratégicas, também passaram a considerar a questão ambiental como fundamental. O processo de *due diligence*, auditoria realizada nas empresas que passam por esses procedimentos, verifica logo no início se existem passivos trabalhistas e ambientais. (ZYLBERSZTAJN, LINS e LEMME, 2010)

Os principais *stakeholders* das organizações, como acionistas, investidores, empregados, clientes, órgãos governamentais e organizações não governamentais (ONGS), tem dado grande ênfase as relações com o meio ambiente. No caso de impactos negativos é cobrado um elevado preço, mesmo que a atitude tenha sido acidental ou involuntária. (ALBERTON e DA COSTA JR, 2004)

### 1.1.2. Legislação

O aumento da consciência ambiental da população foi acompanhado de uma crescente fiscalização e cobrança das atividades poluidoras. Essa pressão ocasionou a criação de novas leis e padrões que mudaram o posicionamento das empresas perante a questão ambiental, de forma estratégica deixaram de apenas cumprir as leis para antecipar-se a elas. Tal atitude pode influenciar inclusive a rentabilidade das organizações. (ZYLBERSZTAJN, LINS e LEMME, 2010) A Tabela 3 apresenta os principais marcos na legislação brasileira com relação a questão ambiental.

Tabela 3 Linha do Tempo – Legislação Brasileira

<b>Ano</b>	<b>Principais Legislações Brasileiras</b>
<b>1916</b>	Código Civil Brasileiro reprime o mau uso da vizinhança e busca a solução de conflitos adjacentes
<b>1940</b>	Código Penal cita proteção aos recursos naturais
<b>1941</b>	Lei 3.688 prevê multa para emissão de fumaça, vapor ou gás abusiva com danos a alguém
<b>1965</b>	1ª lei específica: Código Florestal
<b>1973</b>	1º órgão de controle ambiental: SEMA
<b>1975</b>	Criação da FEEMA no Rio de Janeiro
<b>1977</b>	Estabelecimento do SLAP
<b>1981</b>	Criação da Política Nacional do Meio Ambiente, Sisnama e Conama
<b>1988</b>	Constituição Brasileira adota princípio de Desenvolvimento Sustentável
<b>1989</b>	Criação do IBAMA
<b>1998</b>	Lei de Crimes Ambientais
<b>2007</b>	Criação do INEA
<b>2014</b>	Resolução do Bacen para que as instituições financeiras adotem uma política de responsabilidade socioambiental

Fonte: A autora, 2017.

Segundo DE MARTINI e GUSMÃO (2009), o posicionamento jurídico brasileiro na área ambiental aparece desde o Código Civil Brasileiro de 1916 que reprimia o mau uso da vizinhança e buscava a solução de conflitos adjacentes. Mesmo em uma época anterior à consciência que se tem hoje, a legislação já contemplava a harmonia dos usos, aspecto básico no controle ambiental atual. Anos depois, em 1940, o Código Penal citava em alguns artigos a proteção dos recursos naturais com sanções inafiançáveis e reclusão de até 15 anos. Já o Decreto Lei nº 3.688/41 previa multa para quem “provocar, abusivamente, emissão de fumaça, vapor ou gás, que possa oferecer ou molestar alguém”. Mas a primeira legislação brasileira específica para o meio ambiente foi o Código Florestal, Lei nº 4.771/65, que contemplou a preservação de recursos naturais.

Sob influência da conjuntura mundial, após a Conferência das Nações Unidas em Estocolmo, o Brasil criou em 1973 a Secretaria Especial de Meio Ambiente (SEMA), primeiro órgão de controle ambiental no país. O Rio de Janeiro é considerado pioneiro, pois já possuía a Superintendência de Urbanização e Saneamento (Sursan) e o Instituto de Engenharia Sanitária (IES) que, em 1975, foi transformado na Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA) dando continuidade à prevenção e controle da poluição. Seu Sistema de Licenciamento das Atividades Poluidoras (SLAP), estabelecido em 1977, se tornou modelo para as agências ambientais do restante do país. O conjunto de leis e normas preventivas direcionava obrigações e responsabilidades ao poder público e privado quando fosse implantar, ampliar ou iniciar a operação legal de um empreendimento com potencial ou alteração concreta do meio ambiente. Com isso surgiu a obrigação de uma Licença Prévia, uma Licença de Instalação e uma Licença de Operação a qualquer projeto. Além disso, durante a operação, deveria ser feito um acompanhamento para examinar o atendimento às exigências e aos padrões de qualidade ambiental, examinando efluentes líquidos, gasosos, resíduos sólidos, entre outros. A frequência do acompanhamento depende da atividade e deve racionalizar o uso de pessoal e recursos nas agências ambientais. Essa limitação do órgão ambiental promoveu o surgimento de um Programa de Auto-controle (PROCON), onde o próprio empresário deve fazer seu monitoramento quantitativo e qualitativo de efluentes líquidos e emissões gasosas e encaminhar os resultados à agência, que eventualmente faz a averiguação dos mesmos. (DE MARTINI e GUSMÃO, 2009)

Em 1981 a Lei nº 6.938 permitiu que a legislação ambiental brasileira fosse integrada por meio da Política Nacional do Meio Ambiente. Foram criados o Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) para proteção e melhoria da qualidade ambiental e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) para estabelecer normas e padrões de controle e manutenção dessa qualidade. Em 1985 a Lei nº 7.347 alterou a responsabilidade por danos ambientais ao exigir sua recuperação ou indenização e no ano seguinte o Conama instituiu como obrigatório o licenciamento ambiental e a execução do Estudo de Impacto Ambiental e do Relatório de Impacto Ambiental (EIA/Rima). (GANEM, 2015)

Em 1988a nova Constituição Brasileira também abrangeu a preocupação mundial, dedicando um capítulo ao meio ambiente. Ao defender o direito ao meio ambiente equilibrado e obrigar o Poder Público e a população a defende-lo e preservá-lo para as próximas gerações, o Brasil foi o primeiro país a considerar o princípio de desenvolvimento sustentável na sua constituição. (DE MARTINI e GUSMÃO, 2009)

Para que a Política Nacional do Meio Ambiente fosse efetivamente cumprida foi criado o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) pela Lei nº 7.735 em 1989. O IBAMA é responsável pela preservação, fiscalização e fomento dos recursos naturais. Com a sua criação deixaram de existir o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), a Superintendência da Borracha (SUDHEVEA), a SEMA e a Superintendência do Desenvolvimento da Pesca (SUDEPE), fazendo com que as questões ambientais tivessem maior eficiência unidas em apenas um órgão. Após a Rio-92, reconhecendo a relevância do meio ambiente, foi criado o Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal sendo denominado Ministério do Meio Ambiente a partir de 1999. (BORGES, REZENDE e PEREIRA, 2009)

Com relação as infrações cometidas com relação ao meio ambiente, a partir de 1998 com a Lei nº 9.605, Lei de Crimes Ambientais ou Lei da Natureza, pessoas físicas passaram a ser responsabilizadas por danos ambientais também. Os crimes ambientais podem ser contra a fauna, contra a flora, contra o ordenamento urbano e o patrimônio cultural, contra a administração ambiental, infrações administrativas ou poluição. (PORTAL BRASIL, 2010)

O Estado do Rio de Janeiro criou por meio da Lei nº 5.101/2007 e instalou em 2009 o Instituto Estadual do Ambiente (Inea) com o objetivo de cumprir políticas do

meio ambiente, recursos hídricos e florestais. Com isso foram extintos os três órgãos do governo até então com esse propósito, a FEEMA, a Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA) e o Instituto Estadual de Florestas (IEF). O INEA tem ação descentralizada já que possui nove Superintendências Regionais referentes às regiões hidrográficas do Estado. Assim seu atendimento se torna mais rápido e seu controle mais eficaz. (INEA, 2016)

O Banco Central do Brasil (Bacen) também mostrou preocupação com a questão ambiental ao editar a Resolução nº 4.327/2014 determinando diretrizes para as instituições financeiras adotarem uma política de responsabilidade socioambiental ao conceder financiamentos às empresas. Assim os estudos de viabilidade passam a contemplar os riscos socioambientais das empresas além dos econômico-financeiros. Se uma empresa deseja obter crédito ela deve comprovar por meio de licenças, declarações e certificações que adota medidas preventivas e ferramentas de gestão para diminuir seus riscos. (FIESP e PNUMA, 2015)

A Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e o PNUMA realizaram um estudo direcionado à produção e ao consumo sustentáveis onde são relacionadas políticas públicas e respectivas práticas empresariais adotadas com o intuito de atingir a sustentabilidade. Com relação à prevenção da poluição e à melhoria da eficiência de processos, a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938/81) promoveu a iniciativa empresarial de certificação nas normas ABNT NBR ISO 14.001 de Sistemas de Gestão Ambiental e ABNT NBR ISO 9.001 de Sistemas de Gestão da Qualidade. No que tange ao desempenho e ao relato da sustentabilidade, a Portaria 317/12 do Inmetro possui uma Instrução Normativa de Requisitos Gerais de Sustentabilidade nos Processos Produtivos, o que levou os empresários a realizar a Avaliação de desempenho ambiental seguindo a ABNT NBR ISO 14.031, a desejar fazer parte do Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE) da BM&FBOVESPA, a possuir Indicadores Ethos e a gerar o Relatório do *Global Reporting Initiative* (GRI) com seus respectivos indicadores. Há também marcos regulatórios e respectivas iniciativas empresariais com relação ao uso sustentável de recursos naturais, à gestão de resíduos sólidos, à eficiência energética, às mudanças climáticas, ao pensamento e avaliação do ciclo de vida e às finanças sustentáveis. (FIESP e PNUMA, 2015)

### 1.1.3. Gestão Ambiental

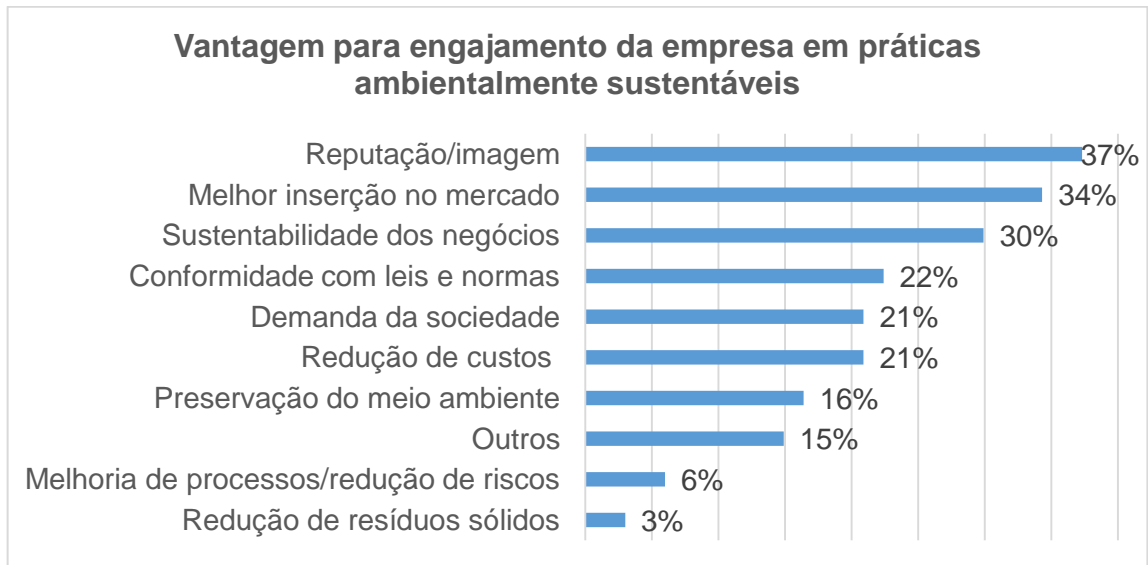
Em uma sociedade capitalista, o principal objetivo das empresas continua sendo o lucro. Todavia, as questões ambientais ganham cada vez mais destaque no cenário empresarial devido ao crescente interesse do público consumidor sobre os métodos de produção (OLIVEIRA, SERRA e SALGADO, 2010). Após diversos acidentes e estudos sobre o tema, a sociedade adotou uma percepção negativa sobre as indústrias. Com isso os órgãos de fiscalização e controle ambiental são pressionados a adotar uma regulamentação cada vez mais severa. (DE MARTINI e GUSMÃO, 2009)

Do ponto de vista estratégico, para atender a legislação ambiental e melhorar sua imagem perante o público, as indústrias voltaram seus esforços para melhorar seus sistemas de gerenciamento e mantê-los sempre atualizados, o que possui relação direta com seu desempenho financeiro e sua competitividade em um mercado global instável. (OLIVEIRA, SERRA e SALGADO, 2010; ALBERTON e DA COSTA JR, 2004) A relevância disso é comprovada ao constatar que a maioria dos grandes acidentes ambientais foram causados não por falhas tecnológicas, mas sim por erros organizacionais ou comportamentais. (DE MARTINI e GUSMÃO, 2009)

A Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2015) realizou uma pesquisa com 100 executivos responsáveis pela área de Meio Ambiente de empresas de grande e médio porte, de 15 setores diferentes da indústria brasileira. Para 74% dessas empresas, as práticas de sustentabilidade adotadas afetam positivamente sua competitividade no mercado. Além disso, 60% dos entrevistados disseram que suas empresas pretendem aumentar os investimentos em sustentabilidade.

A Figura 1 apresenta os resultados da pesquisa quanto às vantagens para o engajamento da empresa em práticas ambientalmente sustentáveis. Verifica-se que são citados benefícios em diferentes campos como mercadológico, legislativo, econômico, ambiental e segurança. A vantagem mais citada, por 37% dos executivos, foi a melhoria na reputação da empresa, seguida pela melhor inserção no mercado e a sustentabilidade nos negócios mencionadas por 34% e 30% das empresas, respectivamente.

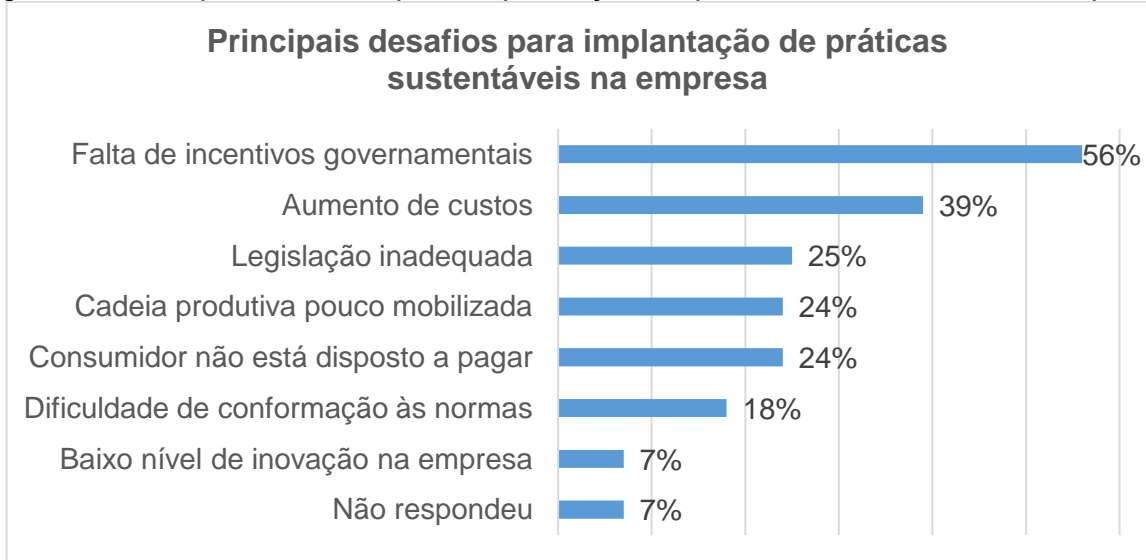
Figura 1 - Vantagem para engajamento da empresa em práticas ambientalmente sustentáveis



Fonte: CNI, 2015

Com relação aos principais desafios para implantação de práticas sustentáveis em uma empresa, a falta de incentivos governamentais foi citada por mais da metade dos executivos entrevistados na pesquisa (56%). O aumento de custos também foi outro desafio bastante citado (39%) porque muitas vezes a implantação de tais práticas requer mudanças de processos ou equipamentos trazendo custos às empresas. Além disso, a legislação inadequada (25%), a falta de mobilização da cadeia produtiva (24%) e a falta de disposição do consumidor em pagar um produto mais caro por ser sustentável (24%) são outros desafios citados na pesquisa. Os resultados da pesquisa são apresentados na Figura 2.

Figura 2 - Principais desafios para implantação de práticas sustentáveis na empresa



Fonte: CNI, 2015

De forma estruturada, a temática ambiental passou a ser incorporada no dia a dia das empresas por meio do Sistema de Gestão Ambiental (SGA). O sistema consiste em um conjunto de ações com o objetivo de proteger o meio ambiente ao definir impactos, propor seu controle e redução de forma contínua. Através da metodologia do SGA, as organizações podem projetar novos negócios, implementar novos projetos e gerenciar suas atividades seguindo sua política de meio ambiente. (FIESP e PNUMA, 2015; OLIVEIRA, SERRA, e SALGADO, 2010) Todavia para que a melhoria no desempenho ambiental seja efetiva, o SGA da empresa deve estar diretamente ligado ao seu sistema de gestão global (DE MARTINI e GUSMÃO, 2009) e possuir objetivos, planos, atividades e métricas específicas. (OLIVEIRA, SERRA, e SALGADO, 2010)

No início, existia pouca integração entre o processo de produção e os funcionários da empresa com seu SGA. Além disso, nos SGA havia muita centralização e pouca disponibilidade de informações até o início dos anos 90. O crescimento da consciência ambiental, das exigências legislativas e dos avanços tecnológicos promoveu uma interação maior das organizações com seus SGA (FIRJAN, 2008). Além disso, é fundamental que a alta administração esteja intensamente envolvida durante o processo de implementação do SGA. Assim seus elementos serão considerados na tomada de decisão gerencial e seus resultados fortalecidos. (OLIVEIRA, SERRA, e SALGADO, 2010)



Os principais benefícios da implantação de um SGA na empresa que são citados na literatura científica são:(FRYXELL et al., 2004; TAN, 2005; GAVRONSKI et al., 2008; GONZÁLEZ et al., 2008; FORTUNSKI, 2008; CHAN e WONG, 2006 apud OLIVEIRA, SERRA, e SALGADO, 2010; FRYXELL e SZETO, 2002; ZENG et al., 2005; SKOULOUDIS et al., 2013 apud OLIVEIRA, et al., 2016)

- Acesso a novos mercados (nacional e internacional),
- Melhoria da competitividade do produto ou serviço,
- Gestão em conformidade com a legislação,
- Redução dos riscos,
- Melhor acesso ao seguro e ao capital,
- Melhoria no processo de produção,
- Melhoria do desempenho ambiental,
- Melhoria da gestão geral da empresa,
- Melhoria da imagem pública,
- Atendimento às exigências do cliente e às expectativas dos *stakeholders*,
- Aumento da consciência ambiental na cadeia de suprimentos.

Com relação ao acesso ao capital, ele se torna mais fácil porque existem linhas de crédito especiais para negócios sustentáveis com taxas de juros menores e prazos estendidos. Bancos públicos, privados e fundos de investimentos acreditam que empresas sustentáveis são mais lucrativas e duradouras, o que diminui os seus riscos. (FIESP e PNUMA, 2015)

Para dar suporte a adoção do SGA pelas empresas, foi necessário o desenvolvimento de novas ferramentas gerenciais ou adaptação de sistemas de gestão existentes. Alguns exemplos são o programa canadense *Responsible Care*, o pacote STEP desenvolvido pela HSE (*Health and Safety Executive*), a norma BS 7750 feita pelo instituto britânico BSI, o instrumento de gestão EMAS (*Eco-Management and Audit Scheme*) desenvolvido pela Comissão Europeia, a norma ISO 14001 feita pela ISO (*International Organization for Standardization*) (MONTEIRO, CASTRO e PROCHNIK, 2003), a estratégia Produção Mais Limpa desenvolvida pela UNIDO (*United Nations Industrial Development Organization*) e PNUMA, a ferramenta de Análise do Ciclo de Vida criada pela SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) em parceria com o PNUMA (OLIVEIRA,

SERRA e SALGADO, 2010), os indicadores Ethos do instituto de mesmo nome, o GRI e o ISE da BM&FBOVESPA. (FIESP e PNUMA, 2015)

Dentre as ferramentas gerenciais adotadas nos SGA, a norma ISO 14001 é a mais difundida mundialmente. (ALBERTON e DA COSTA JR, 2004; CAMPOS e MELO, 2008; MAZZI, et al., 2016; OLIVEIRA, SERRA e SALGADO, 2010; KHALILI e DUECKER, 2013; SKOULLOUDIS et al., 2013 apud OLIVEIRA, et al., 2016) Ela é uma norma internacional da série de normas ISO 14000 que determina requisitos para implementar e operar um SGA nas empresas (FIESP, 2015). Sua primeira versão foi lançada em 1996 e depois houve duas revisões, em 2004 e 2015. (ALBERTON e DA COSTA JR, 2004) A ISO 14001 atua como uma orientação para adicionar a variável ambiental no sistema de gestão do negócio, de forma a considerá-la na política, nas estratégias, nos objetivos, nas escolhas tecnológicas e na rotina operacional da empresa. (ALBERTON e DA COSTA JR, 2004; MATTHEWS et al., 2004; CAMPOS, 2012; OLIVEIRA, 2013; apud OLIVEIRA, et al., 2016)

A norma pode ser adotada de forma universal, em todos os tipos e portes de organização, pois não há requisitos absolutos de desempenho ambiental. (CAMPOS e MELO, 2008; OLIVEIRA, SERRA, e SALGADO, 2010; STEVENS et al., 2012; FIELDS, 2012; GALE, 2005; UNEP, 2007; MENG et al., 2014; SKOULLOUDIS, et al., 2013 apud OLIVEIRA, et al., 2016) Como os requisitos estabelecidos não tem uma forma definida para serem implementados, as companhias podem desenvolver suas próprias soluções para cumprir as exigências (OLIVEIRA, SERRA e SALGADO, 2010). Todavia, adotar a norma não significa que os problemas ambientais da empresa estarão resolvidos. É preciso manter um acompanhamento contínuo com revisões periódicas do sistema de forma a identificar novos pontos de melhoria. (ALBERTON e DA COSTA JR, 2004)

A ISO agrupa mais de 100 países através de suas organizações de normalização, sendo o Brasil representado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O Comitê Técnico 207 (ISO/TC207) elabora a série ISO 14000, sendo seu correspondente no Brasil o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (CB-38). (FIESP, 2015) A ISO 14001 foi muito influenciada pela norma de qualidade ISO 9000 e a norma britânica BS 7750 (ALBERTON e DA COSTA JR, 2004)

A certificação do sistema de gestão é um movimento voluntário das empresas para mostrar ao mercado consumidor seu esforço para obter melhor desempenho

ambiental e atender à legislação, diminuindo assim o risco de sofrer penalidades. Outra vantagem de qualificar sua produção nos padrões internacionais é a possibilidade de expandir seus negócios para o competitivo mercado externo (ALBERTON e DA COSTA JR, 2004). A certificação representa um reconhecimento oficial por uma terceira entidade acreditada, indo além das exigências legais (MAZZI, et al., 2016). Todavia, a certificação apenas mostra que a empresa possui um SGA consistente e documentado, não indicando seu efetivo grau de controle. Por isso são necessárias auditorias por organismos acreditados a cada 3 anos para que a organização mantenha seu certificado. No Brasil, os organismos capazes de realizar auditorias são aqueles acreditados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). (OLIVEIRA, SERRA e SALGADO, 2010)

Entre as empresas brasileiras certificadas, o setor industrial é o que possui maior relevância (OLIVEIRA, et al., 2016). Segundo o Certifiq, Sistema de Gerenciamento de Certificados do INMETRO que disponibiliza informações à sociedade, até setembro de 2016 existiam 1.512 empresas nacionais com certificação ABNT NBR ISO 14001. Ao analisar o total de certificados válidos de empresas nacionais agrupados por estado, até setembro de 2016, vemos que o maior número de certificações é do estado de São Paulo. Isso ocorre porque São Paulo é o estado com maior parque industrial no Brasil. Em seguida, Rio de Janeiro, Paraná e Minas Gerais aparecem com 134, 118 e 98 certificados respectivamente. A Figura 3 mostra os 10 estados com maior número de certificações.

Figura 3 - Certificados válidos ABNT NBR ISO 14001 de empresas nacionais por estado (set/2016)



Fonte: Inmetro, 2015

A crescente preocupação industrial em obter a certificação na ABNT NBR ISO 14001 é notória se avaliarmos o histórico da emissão de certificados de empresas nacionais e estrangeiras entre 2010 a 2015. A Figura 4 apresenta o número de certificados emitidos em cada ano onde é possível observar tal crescimento, com destaque para o ano de 2013 onde este foi mais acentuado.

Figura 4 - Emissão de certificados ABNT NBR ISO 14001 por empresas nacionais e estrangeiras



Fonte: Inmetro, 2015

A propagação dos certificados da ISO 14001 pelo mundo promoveu um aumento contínuo tanto no número de certificados como na quantidade de países aderentes a essa norma. (MAZZI, et al., 2016) Enquanto que em 2010 havia 250 mil certificados na norma ao redor do mundo, em 2014 esse número atingiu 324 mil, tendo evoluído 7% em relação ao ano anterior. (ISO, 2014)

A Tabela 4 apresenta a representatividade de cada região do mundo no total de certificados da ISO 14001 nos anos de 2000 e 2014. Verifica-se que em 2000 a Europa era a região com maior participação (48%) enquanto que o Leste Asiático e Pacífico ficava em segundo lugar (39,4%). Em 2014 ocorre uma mudança nesse panorama já que o Leste Asiático e Pacífico aparece em primeiro lugar (51,3%) e a Europa em segundo (38,2%). Tal mudança pode ser justificada pelo deslocamento das indústrias para a região do Leste Asiático e Pacífico em busca de menores preços e pelo aumento da conscientização ambiental dessas indústrias, provavelmente pressionadas pelos consumidores e pela cadeia produtiva. Verifica-

se também a diminuição da participação das indústrias da América do Norte e África, e o crescimento na América Central/Sul, Ásia Central/Sul e Oriente Médio.

Tabela 4 - Participação Regional na quantidade de certificados ISO 14001

<b>Ano</b>	2000	2014
Europa	48,0%	38,2%
Leste Asiático e Pacífico	39,4%	51,3%
América do Norte	7,3%	3,1%
América Central/Sul	2,4%	3,1%
Ásia Central e Sul	1,2%	2,2%
África	1,0%	0,8%
Oriente Médio	0,7%	1,2%

Fonte: ISO, 2014

A Tabela 5 apresenta os 10 países com maior número de certificados ISO 14001 em 2014. De forma coerente aos dados apresentados na Tabela 4, a China é o país com maior número de certificados (117.758) e o Japão está em terceiro lugar (23.753). A Europa, segunda maior região com certificados ISO 14001, tem como representantes a Itália (27.178), o Reino Unido (16.685), a Espanha (13.869), a Romênia (9.302), a França (8.306) e a Alemanha (7.708).

Tabela 5 - Países com maior número de certificados ISO 14001 em 2014

	<b>País</b>	<b>Número de Certificados ISO 14001 em 2014</b>
1	China	117.758
2	Itália	27.178
3	Japão	23.753
4	Reino Unido	16.685
5	Espanha	13.869
6	Romênia	9.302
7	França	8.306
8	Alemanha	7.708
9	Estado Unidos	6.586
10	Índia	6.446

Fonte: ISO, 2014

Diante dessa tendência mundial, grandes empresas passaram a considerar em sua avaliação da cadeia de fornecedores o certificado da norma ISO 14001, seja de forma classificatória ou excludente (FIRJAN, 2008; OLIVEIRA, SERRA E SALGADO, 2010). Infelizmente, devido a importância da ISO 14001, muitas empresas veem a certificação na norma principalmente como uma ferramenta de marketing. (OLIVEIRA, et al., 2016)

A última revisão da ABNT NBR ISO 14.001 ocorreu em 2015 para adotar mudanças como a proliferação dos sistemas de gestão, o foco em sustentabilidade, responsabilidade e transparência e também suprir novas exigências do mercado como uma legislação ambiental mais restritiva e maiores pressões sobre o meio ambiente. A principal diferença é o enfoque da melhoria contínua do SGA como fundamental para a melhoria do desempenho ambiental da empresa, a simplificação da integração com outras normas de gestão, uma nova visão sobre ciclo de vida, o destaque para a abordagem de risco e o posicionamento da liderança como papel central para alcançar as metas do SGA. As empresas têm um período de até 3 anos para realizar essa transição. (FIESP, 2015)

O princípio básico da ABNT NBR ISO ISO 14.001 é a adoção do ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) na implementação do SGA. Ele também é empregado em outras normas como o Sistema de Gestão da Qualidade - ISO 9000 e o Sistema de Gestão da Segurança e Saúde Ocupacional - ISO18000 (FIESP, 2015). Assim, o ciclo PDCA associado à ISO 14001 utiliza como elementos chave:

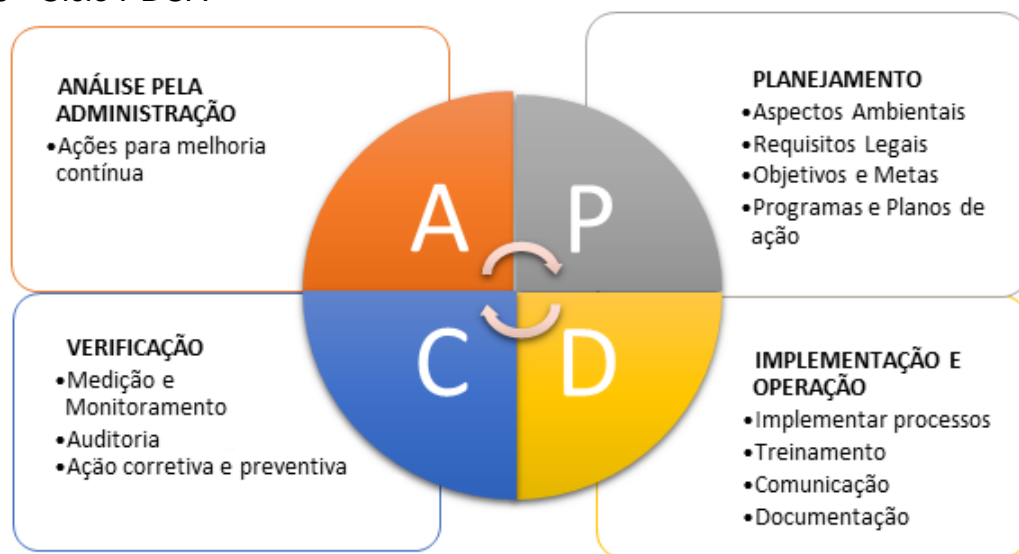
- Planejamento (Plan): definida a Política Ambiental da empresa, deve-se planejar sua implementação, cumprimento e manutenção. Nesta etapa é avaliada a situação ambiental da empresa, os requisitos ambientais que devem ser cumpridos, os objetivos e metas que devem ser alcançados e as ações necessárias para atingir o desempenho esperado.
- Implementação e Operação (Do): após o planejamento, as ações são colocadas em prática, porém para que elas ocorram de forma efetiva devem estar à disposição do SGA a qualificação e as ferramentas necessárias. É importante manter uma comunicação eficaz e adequada documentação do SGA para implementar seus processos.
- Verificação (Check): posteriormente é feita a medição e o monitoramento das ações implementadas na etapa anterior e corrigidos os desvios de forma

preventiva ou corretiva. Também são realizadas auditorias para verificar o cumprimento dessas ações.

- Análise pela Administração (Act): depois é realizada uma análise dos dados da etapa anterior para avaliar se a etapa de Implementação foi realizada de acordo com o que foi definido no Planejamento e manteve a Política Ambiental da empresa. Assim é possível manter o ciclo de melhoria contínua.

De forma esquemática, o ciclo PDCA pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Ciclo PDCA



Fonte: A autora, 2017.

Como esses elementos chave são repetidos sucessivamente em um ciclo, a norma ABNT NBR ISO 14.001 reavalia de forma contínua o processo, buscando procedimentos, mecanismos e padrões comportamentais que produzam menores impactos ao meio ambiente (CAMPOS e MELO, 2008). Segundo DE MARTINI e GUSMÃO (2009), a melhoria contínua é fundamental para a sobrevivência da companhia devido a crescente importância da questão ambiental na sociedade e a inclusão dessa variável nas decisões empresariais. Dessa forma é possível manter a questão ambiental sob controle e evitar possíveis problemas.

Parte vital desse ciclo de melhoria contínua são as medições realizadas durante a etapa de verificação, qualificando e quantificando a tentativa de atingir as metas ambientais estipuladas. Assim devem ser estabelecidos, implementados e mantidos procedimentos que monitorem e meçam de forma regular as ações do SGA. Com isso, é possível obter seu grau de evolução, corrigir os desvios e comparar seus

resultados com outras empresas do setor. A tomada de decisão dos gestores também é afetada por essas medições, de forma a alinhar o SGA às estratégias da companhia. (CAMPOS e MELO, 2008; DE MARTINI e GUSMÃO, 2009). Devido a importância das medições, os equipamentos de monitoramento devem estar calibrados e os registros feitos devem ser mantidos (DE MARTINI e GUSMÃO, 2009).

Um plano de monitoramento ambiental não consiste em uma coletânea de dados, mas em um trabalho sistemático, com objetivos claros, abrangência e escala de trabalho definidas para estabelecer indicadores e tornar a avaliação possível. Também são necessários valores ou limites referenciais para estabelecer uma condição de risco ou dano ambiental. (SPADOTTO, et al., 2004) A nova versão da ABNT NBR ISO 14.001 destaca que com critérios e indicadores adequados a empresa pode comprovar se houve melhoria em seu desempenho ambiental. (FIESP, 2015)

Todavia, fatores externos como total de horas de operação, total de pessoas trabalhando ou quantidade de produto produzido, podem tornar a avaliação do SGA inadequada. A identificação desses fatores e sua normalização evita que sejam feitas análises distorcidas. (DE MARTINI, FIGUEIREDO e GUSMÃO, 2005)

Assim, organizações que não monitoram indicadores ambientais não estão adotando de forma correta o ciclo PDCA e conseqüentemente não estão gerenciando o desempenho do seu SGA. O sucesso do programa de gestão ambiental e a conquista de todos os benefícios a ele atrelados dependem do monitoramento contínuo de indicadores ambientais. (CAMPOS e MELO, 2008)

## **1.2. Indicadores**

### **1.2.1. Definição**

De acordo com a FIESP (2004), indicadores são expressões quantitativas ou qualitativas que possuem informações de variáveis específicas e de suas relações entre si. Segundo a FUNDAÇÃO NACIONAL DA QUALIDADE (2014) eles



expressam o desempenho de um processo quanto a eficiência, eficácia ou nível de satisfação tornando possível sua comparação em relação:

- Ao passado (série histórica),
- A um referencial de desempenho,
- A uma meta de desempenho.

Os indicadores têm duas grandes funções: reduzir o número de medidas e parâmetros necessários para representar uma situação e simplificar o processo de comunicação dos resultados das medições aos usuários. Uma vez que a comunicação precisa ser simples, eles devem permitir ou promover o intercâmbio de informações, simplificando a complexa realidade. (EEA, 2014)

Segundo LUZ, SELLITTO e GOMES (2006), uma estratégia sem uso de medição não tem utilidade, enquanto que uma medição sem uso de estratégia não possui sentido. Assim, durante a definição de um sistema de medição, deve-se responder as seguintes perguntas:

- Por que medir;
- O que medir;
- Como medir.

Um indicador qualitativo só deve ser adotado caso não estejam disponíveis dados quantitativos, quando a informação desejada não é quantificável ou quando o custo de um indicador quantitativo é muito elevado. (PEROTTO, et al., 2008).

No âmbito corporativo, os indicadores são importantes para o planejamento da companhia e gerenciamento de seus procedimentos, influenciando no processo de tomada de decisão. Eles são fundamentais para uma gestão eficaz porque possibilitam identificar e corrigir desvios analisando suas causas e sugerindo propostas de melhoria ou a geração de mudanças. (CAMPOS e MELO, 2008)

A medição de desempenho está alinhada a visão de futuro da companhia e descreve suas estratégias para alcançá-la. Pode ser entendida como uma comunicação da estratégia gerencial para os níveis mais baixos e dos resultados operacionais para o nível gerencial. Em uma analogia com o corpo humano, os indicadores podem ser vistos como os sinais vitais de uma organização. (LUZ, SELLITTO e GOMES,2006)

As empresas compreenderam, há muito tempo, que os dados tornam visível o invisível. A tendência de usar dados tornou-se algo comum. Elas usam as medições

para melhorar seu desempenho uma vez que são evidenciadas lacunas no conhecimento do processo. Como diz o axioma testado pelo tempo "Você não pode gerenciar o que você não mede". Assim, quando os tomadores de decisão de uma empresa usam os dados para diminuir a incerteza, eles avançam em seus objetivos com mais do que suposições ou palpites. Além disso, em outra esfera, a medição robusta fornece ao governo uma base para formular políticas públicas. (HSU, et al., 2016)

Todavia, "nem tudo que conta pode ser contado e nem tudo que pode ser contado conta". A frase atribuída a Albert Einstein mostra a limitação dos indicadores quantitativos. Um indicador isolado não tem capacidade de apresentar uma visão ampla e compreensiva sobre uma determinada questão. Além disso, apesar deles mostrarem tendências, isoladamente não conseguem explicitar as razões de tais mudanças. Para uma análise completa, os indicadores devem ser analisados dentro de um contexto com apoio de outras informações quantitativas e qualitativas. (EEA, 2014)

Uma vez que uma das principais características dos indicadores é a simplificação da análise da realidade, um indicador complexo ou de difícil medição não é apropriado já que o custo da sua aquisição pode inviabilizar seu uso no dia a dia da operação. Além disso, é fundamental que as medidas estejam corretas para que as mudanças adotadas se convertam em sucesso. (CAMPOS e MELO, 2008) Por isso é essencial o questionamento constante da validade dos indicadores, com atualizações diante de mudanças no cenário. (LUZ, SELLITTO e GOMES, 2006)

Além dos motivos já citados, a medição de desempenho empresarial por meio de indicadores também atende ao aumento do grau de exigência dos *stakeholders*, que demandam um processo de medição sistemático e transparente com maior abrangência do que apenas a área financeira; a prática de remuneração variável com base em indicadores que exige um sistema estruturado com critérios únicos; e o aumento da velocidade e qualidade da tomada de decisão, fundamental para a sobrevivência na organização em um mundo globalizado. (FUNDAÇÃO NACIONAL DA QUALIDADE, 2014)

### 1.2.2. Indicador ambiental

Existe uma grande variedade de indicadores ambientais usados atualmente. Eles resumem, simplificam, ilustram e comunicam conjuntos de dados mais complexos que podem ser típicos ou críticos para o meio ambiente. Ao incluir tendências e progressos ao longo do tempo, eles ajudam a fornecer uma visão sobre o estado do ambiente contribuindo assim como base para a tomada de decisão. (EEA, 2014) Segundo pesquisa da CNI (2015), 79% de grandes e médias empresas do setor industrial brasileiro monitoram suas práticas de sustentabilidade por meio de indicadores e 67% possuem metas associadas a eles.

A Organização de Desenvolvimento e Cooperação Econômica (OECD) foi pioneira no desenvolvimento de indicadores ambientais a nível internacional no início dos anos 90. A OECD estabeleceu critérios gerais para selecionar um bom indicador ambiental. Todavia, na prática, nem todos os critérios serão satisfeitos por todos os indicadores. Os critérios podem ser vistos na Tabela 6.

Tabela 6 - Critérios da OECD para selecionar um indicador ambiental

<b>Relevância política e utilidade para os usuários</b>	Ser uma figura representativa das condições ambientais, das pressões sobre o ambiente ou das responsabilidades da sociedade;
	Ser simples, de fácil interpretação e capaz de mostrar tendências através do tempo;
	Ser sensível a alterações no ambiente e a atividades humanas relacionadas;
	Ter uma base de comparação internacional;
	Ser de âmbito nacional ou aplicáveis a questões ambientais regionais de importância nacional;
	Ter um valor de referência com o qual possa ser comparado.
<b>Solidez analítica</b>	Ser teoricamente bem fundamentado em termos técnicos e científicos;
	Ser baseado em padrões internacionais e em consensos internacionais sobre sua validade;

	Permitir associações a modelos econômicos, sistemas de previsão e informação.
<b>Mensurável</b>	Possuir dados prontamente disponíveis ou com um razoável custo/benefício;
	Possuir dados documentados adequadamente e de qualidade conhecida;
	Possuir dados atualizados em intervalos regulares de acordo com procedimentos confiáveis.

Fonte: EEA, 2014

A OECD sugere para os indicadores ambientais o modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) já que os indicadores podem ser referentes às pressões realizadas sobre o meio ambiente, às condições ambientais ou às respostas que a sociedade adota para mitigar tais pressões. (FIRJAN, 2008)

Na indústria, os indicadores relacionados ao meio ambiente devem considerar vários aspectos de dependência e interferência na sua formulação. Sua análise permite realizar tanto avaliações de desempenho ambiental como também de produtividade e competitividade ao avaliar a organização ao longo do tempo ou com seus pares, promovendo melhorias nos processos e na gestão. (FIESP, 2004)

Segundo CAMPOS e MELO (2008), há uma confusão conceitual com relação aos indicadores dessa área. Indicadores ambientais seriam aqueles referentes a dados de um componente específico ou conjunto de componentes de um ou vários ecossistemas, por sua vez indicadores de desenvolvimento sustentável agrupam informações das diferentes dimensões da sustentabilidade (econômica, ambiental e social), enquanto que indicadores de desempenho ambiental traduzem os efeitos no meio ambiente de processos realizados por uma organização. Assim, os indicadores de desempenho ambiental conseguem mostrar o esforço organizacional por meio de um gerenciamento ambiental para diminuir impactos no meio ambiente, sendo um fator crítico para o sucesso do SGA.

Segundo LUZ, SELLITTO e GOMES (2006), desempenho ambiental pode ser definido como a informação fornecida por um grupo de indicadores de desempenho ambiental, tornando possível a comparação de diferentes setores de uma mesma companhia ou de diferentes companhias de um mesmo tipo de indústria. De acordo com eles, há duas abordagens complementares para medir o desempenho ambiental:

- Por meio de indicadores de impacto ambiental: consideram o efeito ou alteração no meio ambiente gerada por uma atividade antrópica. São medidos por grandezas que já se concretizaram no ambiente. É uma forma mais completa de medir o desempenho ambiental, porém requer mais informação. Além disso, pode variar de acordo com as condições locais, como em casos onde existem mais de uma fonte de contaminação.
- Por meio de indicadores de pressão ambiental: consideram o potencial de causar um impacto ambiental por isso são medidos por grandezas-meio. É uma forma mais simples e por isso requer menos informações.

Todavia, o desempenho ambiental de uma organização não pode ser calculado de forma completa uma vez que existem diversas relações entre meio ambiente e indústria. O meio ambiente atua nessa relação como fonte de insumos e depósito de resíduos e efluentes, sendo assim os impactos gerados nele tanto positivos como negativos. (FIESP, 2004)

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 14001:2015, o desempenho ambiental deve ser reportado por meio de indicadores, quantitativos ou qualitativos. Assim é possível ter uma representação mensurável da condição ou estado da operação e da gestão da empresa. A norma pertencente ao conjunto de normas da ISO 14000 que aborda especificamente esse tema é a ABNT NBR ISO 14031:2015 “Gestão Ambiental – Avaliação do Desempenho Ambiental – Diretrizes”. Ela separa os indicadores em duas partes gerais: Indicador de Condição Ambiental (ICA) e Indicador de Desempenho Ambiental (IDA), que pode ser dividido em Desempenho Gerencial (IDG) e Desempenho Operacional (IDO).

Os ICA fornecem informações sobre a qualidade do meio ambiente onde está localizada a organização. Assim, alterações neles podem ter relação com as atividades da organização, porém é difícil fazer essa associação a não ser que a empresa seja a única fonte de emissão daquele determinado poluente naquele local. Normalmente os ICA são desenvolvidos por ONGs, instituições de pesquisa ou agências governamentais para desenvolver normas e regulamentos. (ABNT NBR ISO 14031:2015)

A norma separou os IDG em cinco grupos: implementação de política e programas, conformidade, desempenho financeiro e relações com a comunidade. Já os IDO foram separados em materiais, energia, serviços de apoio às operações da organização, instalações físicas e equipamentos, fornecimento e distribuição,

produtos, serviços fornecidos pela organização, resíduos e emissões. Os IDO podem ser relativos às entradas e saídas de instalações físicas ou equipamentos da empresa, incluindo diferentes fases como projeto, instalação, operação e manutenção. Todavia, a norma explicita que cada organização possui políticas, objetivos e estruturas próprios, ficando sob sua avaliação a seleção dos indicadores ambientais mais apropriados. (ABNT NBR ISO 14031:2015)

A Figura 6 apresenta as relações entre tais indicadores, a organização (quadro vermelho) e o ambiente (quadro verde). A relação entre a condição ambiental e a organização, representada pelo ICA, é de mão dupla, uma vez que um pode interferir no outro. De forma geral, a organização recebe insumos do ambiente e fornece produtos a ele. Tal processo de transformação é medido pelos IDO que possuem relação com os IDG. Por sua vez, as partes interessadas também possuem uma relação de mão dupla com a organização, podendo interferir na parte gerencial ou operacional.

Figura 6 - Categorias de Indicadores ABNT NBR ISO 14001



Fonte: FIRJAN, 2008

Assim como a OECD, a ABNT NBR ISO 14031:2015 também fez algumas considerações para a seleção de indicadores para a Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA). De acordo com a norma, os indicadores devem ser:

- Coerentes com a política ambiental da empresa;
- Adequados ao empenho gerencial, operacional e a condição ambiental da organização;
- Úteis para medição de desempenho em relação aos critérios adotados;
- Relevantes e compreensíveis aos *stakeholders* internos e externos;

- Obtidos de maneira eficaz com relação as variáveis custo e tempo;
- Adequados ao tipo, quantidade e qualidade de dados disponíveis;
- Representativos do desempenho ambiental da organização;
- Medidos em unidades adequadas;
- Sensíveis a mudanças no desempenho ambiental da empresa;
- Capazes de fornecer informações de tendências atuais e futuras.

Dessa forma, se torna essencial a construção e aplicação de indicadores de desempenho ambiental como uma ferramenta de gerenciamento para quantificar danos ao meio ambiente e como um parâmetro para identificar ineficiências na organização e traçar planos de ação para melhorias. (GARCÍA-SÁNCHEZ, ALMEIDA e CAMARA, 2015)

Todavia, geralmente é difícil definir quais seriam os indicadores de desempenho ambiental adequados e o número de indicadores necessários para descrever determinada situação. Por isso, quando existem variadas demandas por informação são escolhidos ou construídos indicadores diferentes. (PEROTTO, et al., 2008)

Segundo a EEA (2014), com relação às políticas públicas, os indicadores ambientais são indispensáveis e usados com três grandes propósitos:

- Fornecem informações sobre os problemas ambientais, possibilitando uma avaliação de sua seriedade;
- Fornecem suporte ao desenvolvimento de políticas e a priorização delas, identificando fatores chave que causam pressão ao meio ambiente;
- Monitoram o efeito das políticas adotadas.

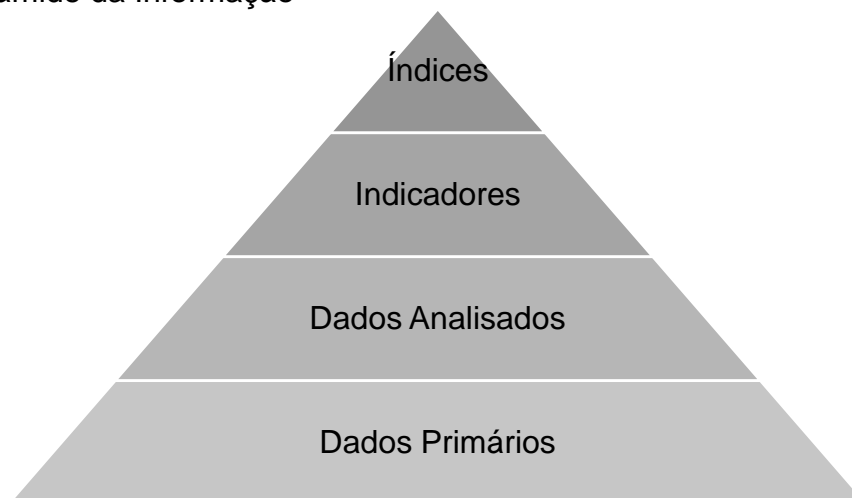
Além disso, os indicadores ambientais podem ser usados como uma poderosa ferramenta de alerta ao público sobre questões ambientais. Ao fornecer informações sobre as forças motrizes, os impactos e as respostas políticas, os indicadores são usados como uma estratégia comum para reforçar o apoio do público às medidas políticas. (EEA, 2014)

### 1.2.3. Índices

Para obter uma visão sistêmica do desempenho global, os indicadores podem ser integrados segundo uma metodologia, que deve ser adequada ao cenário e à estratégia adotada, formando um índice. Na área ambiental, um índice representa uma forma mais fácil de comunicação dos dados uma vez que, geralmente, este é um ambiente complexo pela grande quantidade de variáveis interligadas. (LUZ, SELBITTO e GOMES,2006)

A Figura 7 representa a Pirâmide da Informação. Sua base larga consiste nos dados primários, obtidos diretamente do processo, geralmente em grande quantidade. Após uma primeira análise, esses dados obtêm um volume menor, alcançando um nível acima na pirâmide. A próxima etapa consiste na formação de indicadores com tais dados previamente analisados. Já o topo da pirâmide representa a condensação máxima dos dados por meio de um índice, que agrupa a informação dos níveis inferiores. A base da pirâmide apresenta maior quantidade de dados enquanto que o topo possui maior qualidade dos mesmos.

Figura 7 - Pirâmide da Informação



Fonte: A autora, 2017.

Durante o processo de formação de indicadores e índices parte da informação pode ser perdida devido a sua condensação. Todavia, o processo continua sendo benéfico porque existe um ganho considerável na facilidade de comunicação, uma vez que até pessoas leigas podem entender seus resultados. (PEROTTO, et al., 2008)

A metodologia de criação de um índice é formada por sete etapas: o desenvolvimento de um quadro teórico, a seleção das variáveis desejadas, a adição



de dados que estejam faltando, a remoção de variáveis, a normalização dos dados, a ponderação e agregação dos mesmos. (GARCÍA-SÁNCHEZ, ALMEIDA e CAMARA, 2015)

Muitas vezes os indicadores são combinados em um conjunto, conhecido como painel de avaliação, de controle ou placar, onde cada indicador representa uma parte do todo e são apresentados de forma individual. Todavia, os índices são a combinação de indicadores em uma única medida, obtendo conceitos multidimensionais que não podem ser traduzidos por um único indicador. Tais índices possuem indicadores com diferentes unidades que são convertidos ou normalizados antes da agregação. (EEA, 2014)

De acordo com a ABNT NBR ISO 14031:2015, em uma ADA os indicadores podem fornecer informações de medições diretas ou relativas ou serem indexados por meio de agregação ou ponderação, dependendo do objetivo desejado ou do tipo de informação obtida. Todavia, os dados devem manter a consistência, comparabilidade e entendimento. As características de cada tipo de indicador podem ser vistas a seguir:

- Medição direta: dados básicos, primários ou originais, como por exemplo toneladas de contaminantes emitidos.
- Medição relativa: dados analisados, comparados ou relacionados a outros parâmetros, como por exemplo, toneladas de contaminantes emitidos por tonelada de produção.
- Indexada: dados convertidos em unidades ou formas para serem relacionados a um padrão ou base de referência, como por exemplo, porcentagem de emissão de contaminantes com relação as emissões de um ano base.
- Agregada: dados do mesmo tipo, mas de diferentes fontes, apresentados como um valor combinado, como por exemplo, toneladas totais de contaminantes emitidos por diferentes unidades fabris de uma mesma empresa.
- Ponderada: dados alterados pelo uso de um fator relativo à sua importância.

Com a agregação é possível obter um indicador de nível superior que reflete os resultados de um conjunto de indicadores. Conhecido como indicadores integrados, agregados ou compostos, eles podem ser obtidos por média aritmética, geométrica ou harmônica, sendo a aritmética, conhecida como agregação linear, a mais simples

e utilizada. Uma condição para a agregação aritmética é que todos os indicadores devem ter a mesma unidade, enquanto que a agregação geométrica pode ser feita com indicadores de diferentes unidades, porém apenas com valores positivos. A agregação aritmética também pode ser realizada através de uma média ponderada ou dentro de um intervalo definido, como por exemplo, entre zero e um. Todavia, é preciso que os indicadores sejam independentes para que sejam agregados. (PODGÓRSKI, 2015)

O principal inconveniente da agregação linear é que o mau desempenho em uma área pode ser compensado por um bom desempenho em outra área. A agregação geométrica soluciona esse problema uma vez que o método pune pontuações extremamente baixas mais severamente do que melhores pontuações, gerando um incentivo para melhorar o desempenho em áreas com pior resultado. Todavia, a agregação geométrica é mais difícil de ser compreendida, o que diminui a transparência do índice. Assim não há um claro consenso entre os especialistas sobre a melhor maneira para comparação entre indicadores e a formação de índices. A ponderação e a agregação são questões bastante sensíveis e subjetivas. O processo de atribuição de pesos é um processo tanto político como científico e geralmente são consideradas as recomendações de especialistas. Quaisquer que sejam as metodologias adotadas, sempre haverá críticas sobre a decisão final. Com relação a ponderação pode-se disponibilizar informações sobre a metodologia utilizada e justificar os pesos como uma tentativa de captar diferentes opiniões sobre a importância relativa de cada indicador. (HSU, JOHNSON e LOYD, 2013)

Outra abordagem utilizada é a seleção de um grupo de indicadores dentro de um conjunto maior. A concentração em um número menor de indicadores tem como vantagem a simplificação do sistema e do seu custo administrativo e de manutenção. Com relação à agregação de indicadores, a vantagem da seleção é que esta não exige a independência entre os indicadores. (PODGÓRSKI, 2015)

No mundo corporativo, questiona-se o elevado número de indicadores analisados pelos gestores tornando complexo o seu gerenciamento. Para uma análise mais eficiente e periódica surge a necessidade de diminuir o número de indicadores adotando uma avaliação conjunta. Assim é possível obter um retrato geral do departamento para análise da diretoria além de tornar possível a comparação com outros setores e obter um resultado geral do desempenho da organização. (RAFAELI e MULLER, 2007)

Na literatura alguns trabalhos utilizam índices para avaliar ou monitorar determinada situação. Conforme proposto nesta dissertação, serão citados trabalhos que constroem índices com a temática ambiental e/ou adotam a técnica de ponderação Análise Hierárquica de Processos (AHP).

Um exemplo é o IDA (Índice de Desempenho Ambiental) desenvolvido pelos técnicos do Centro Interdisciplinar de Estudos em Transportes Urbanos (CEFTRU/UNB) com coordenação da Gerência de Meio Ambiente da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) em 2012 para medir o grau de atendimento às conformidades ambientais pelas instalações portuárias. Com ele é possível verificar a gestão ambiental dos portos a cada seis meses no site da ANTAQ ([www.antaq.gov.br](http://www.antaq.gov.br)). Este IDA utiliza a AHP para ponderação de 38 indicadores por ser o método mais adaptado à sua realidade, uma vez que considera a interdependência e hierarquização das conformidades ambientais. Os técnicos de meio ambiente da ANTAQ e os responsáveis por meio ambiente de 30 portos foram os especialistas que responderam aos questionários da AHP. A base de cálculo realizada em uma planilha no programa Microsoft Excel tem como vantagens o rápido ajuste em caso de alterações e a obtenção de um resultado final imediato, promovendo celeridade ao processo de avaliação. (ANTAQ, 2016) A estrutura do IDA e as categorias avaliadas no mesmo estão presentes na Figura 8.

Figura 8 - Estrutura IDA



Fonte: ANTAQ, 2016

Os benefícios do índice são a comparação entre a gestão de diferentes portos e seus processos de licenciamento, o uso na regulação e fiscalização da ANTAQ, a visualização dos pontos fortes e fracos do porto, entre outras. O sucesso do IDA garantiu prêmios e possibilitou seu uso em terminais privados, na remuneração

variável de diretores da SEP/DOCAS além da melhoria na interface com seus usuários. Em uma pesquisa com os gestores dos portos, verificou-se que todos acreditam nas melhorias que o IDA promove na gestão ambiental. (ANTAQ, 2016)

Em um estudo de caso com uma indústria automotiva que possui SGA certificado pela ABNT NBR ISO 14001, foi adotado a Medição de Desempenho Ambiental (MDA). O método faz uso de indicadores de resíduos sólidos, efluentes, emissões atmosféricas, uso de recursos naturais e gestão ambiental ponderados de forma hierárquica pela AHP. Os indicadores e a ponderação foram determinados por um grupo de especialistas e posteriormente combinados linearmente no índice MDA. (LUZ, SELLITTO e GOMES,2006)

Um Índice Consolidado de Desempenho (ICD) foi desenvolvido para ser aplicado no Departamento de Engenharia de uma empresa do ramo automotivo com o objetivo de avaliar seu atendimento à estratégia da empresa. Este índice, formado por 35 indicadores, foi ponderado por especialistas por meio da técnica AHP. Previamente foram calculados ICDs parciais, relacionados aos fornecedores, aos acionistas, aos clientes, entre outros para depois obter-se um ICD geral do departamento através da combinação linear. (RAFAELI e MULLER, 2007)

O Ecoblock foi desenvolvido pelo Centro de Investigação em Ambiente e Sustentabilidade (CENSE), da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL). Ele consiste em um método de avaliação de desempenho ambiental que faz uso de indicadores para calcular pressões ambientais, como o consumo de recursos naturais ou potenciais danos ao meio ambiente. Por serem indicadores aditivos, é possível adotar o método tanto para um produto, processo ou projeto de uma única indústria como para toda uma cadeia produtiva. São avaliadas sete categorias sobre uso de matérias primas, emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos. A ponderação dos indicadores é feita por meio de sua relevância técnica ou regulamentar para posterior agregação linear em um índice, o Ecoblock, expresso em hectares globais assim como a Pegada Ecológica. (ALMEIDA e SELLITTO, 2013)

O Desempenho Ambiental em Operações Empresariais (DAOE) foi calculado para avaliar a operação de duas manufaturas, uma de materiais elétricos e outra de peças forjadas e usinadas. Foram adotados indicadores de resíduos sólidos, efluentes líquidos, emissões atmosféricas, uso de recursos naturais e energéticos e atendimento à legislação e certificações. Especialistas com poder de decisão em

temas ambientais determinaram quais indicadores seriam adotados, avaliaram categoricamente seu desempenho e definiram suas importâncias relativas para combinação linear em um índice. (SELLITTO, BORCHARDT e PEREIRA, 2008)

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) foi elaborado na década de 70 pela *National Sanitation Foundation*. Seu objetivo é avaliar a qualidade de águas naturais em diferentes localidades e observar sua evolução ao longo do tempo para tratamento e posterior abastecimento e consumo humano. Especialistas indicaram nove parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos que são agregados em um índice por meio de um produto ponderado. Os pesos e escalas adotados também foram definidos pelos especialistas. (BOLLMANN e EDWIGES, 2008)

Outro exemplo é o *Environmental Performance Index* (EPI), criado pelas universidades de Yale e Columbia. O índice foi criado em 2000 e classifica o desempenho de 180 países em relação a proteção da saúde humana e a proteção dos ecossistemas. Dentro dessas duas áreas, são analisadas nove categorias compostas por mais de 20 indicadores. No ranking de 2016, o Brasil aparece em 46º lugar com 78,9 pontos enquanto em 1º lugar está a Finlândia com 90,68 pontos. O EPI foi muito importante no reconhecimento de que políticas ambientais às vezes necessitam de rigor científico e quantitativo. Os países com melhor desempenho representam um benchmark para os outros. Os indicadores são ponderados de acordo com a opinião de especialistas que consideram a qualidade dos dados, a relevância do indicador e questões políticas. A agregação do índice é linear. (HSU, et al., 2016)

O *Composite Index of Environmental Performance* (CIEP) tem como objetivo medir o desempenho ambiental dos países com base na metodologia *Driving Force–Pressure–State–Exposure–Effect–Action* (DPSEEA), proposta pela Organização Mundial da Saúde (OMS). São utilizados 19 indicadores individuais agrupados em 5 dimensões e posteriormente em um único índice. Os pesos foram atribuídos pelo método *Criteria Importance Through Intercriteria Correlation* (CRITIC) e agregados linearmente. O CIEP foi calculado para 152 países no período de 2004 a 2009, permitindo determinar impactos negativos sobre o meio ambiente e o efeito da pressão sobre os recursos naturais. O índice diminui a quantidade de indicadores ambientais a serem analisados, de forma a melhorar o processo de tomada de decisão. Com um quadro representativo das condições ambientais, suas pressões e respostas sociais, se torna mais fácil interpretar e observar tendências ao longo do

tempo. O índice é forte analiticamente e do ponto de vista técnico e científico. (GARCÍA-SÁNCHEZ, ALMEIDA e CAMARA, 2015)

Na tabela 7 evidenciam-se os objetivos e os métodos utilizados nos trabalhos da literatura citados anteriormente.

Tabela 7 Índices Revisão Bibliográfica

<b>Índice Global</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Método</b>	<b>Autor</b>
IDA	Avaliar o grau de atendimento às conformidades ambientais de 30 instalações portuárias por meio de 38 indicadores divididos nas categorias de desempenho econômico-operacional, físico-químico, sociológico-cultural, biológico-ecológico.	Ponderação pelo método AHP e agregação por combinação linear.	ANTAQ, 2016
MDA	Medir o desempenho ambiental de uma indústria automotiva.	Ponderação pelo método AHP e agregação por combinação linear.	LUZ, SELBITTO e GOMES, 2006
ICD	Avaliar o atendimento da estratégia de uma empresa por seu Departamento de Engenharia.	Ponderação pelo método AHP e agregação por combinação linear.	RAFAELI e MULLER, 2007
Ecoblock	Avaliar o desempenho ambiental de produtos, processos ou projetos com indicadores de pressão ambiental.	Ponderação devido a relevância técnica ou regulamentar e agregação linear.	ALMEIDA e SELBITTO, 2013
DAOE	Medir o desempenho ambiental da operação de duas manufaturas.	Ponderação por recomendação de especialistas e agregação por combinação linear.	SELBITTO, BORCHARDT e PEREIRA, 2008

Índice Global	Objetivo	Método	Autor
IQA	Avaliar a qualidade de águas naturais em diferentes localidades e observar sua evolução ao longo do tempo.	Ponderação por recomendação de especialistas e agregação dos indicadores por um produto ponderado.	BOLLMANN e EDWIGES, 2008
EPI	Monitorar 180 países com relação a proteção da saúde humana e dos ecossistemas através de mais de 20 indicadores.	Ponderação por recomendação de especialistas e agregação linear.	HSU, <i>et al.</i> , 2016
CIEP	Medir o desempenho ambiental dos países com base na metodologia DPSEEA por meio de 19 indicadores agrupados em 5 dimensões para 152 países.	Ponderação pelo método CRITIC e agregação linear.	GARCÍA-SÁNCHEZ, ALMEIDA e CAMARA, 2015

Fonte: A autora, 2017.

É importante ressaltar que a comparação entre os índices da literatura é dificultada pela customização dos mesmos em cada aplicação. Uma vez que os critérios e os indicadores sejam diferentes, a comparação se torna inviável. Se os dados e critérios forem iguais, podem ser comparados os métodos utilizados na obtenção do índice.

### 1.3.A teoria da decisão e os métodos multicritérios

#### 1.3.1. Decisão nas organizações

Decidir representa escolher uma entre diversas alternativas possíveis para atingir um objetivo. Assim, o processo de decisão compreende necessariamente um ato de escolha e outro de renúncia. Não há decisão certa ou errada, o que existem são decisões. Todavia, diz-se que uma decisão é certa quando ela alcança o objetivo esperado. (ABRAMCZUK, 2009)

Ao tomar uma decisão ocorre um posicionamento com relação ao futuro. O processo consiste na eleição da melhor alternativa entre aquelas que são possíveis de se realizar. O problema é definir o que é melhor e o que é possível. Assim, compreender a natureza do problema com uma visão multidimensional é primordial para a obtenção de uma solução assertiva. Com relação a sua forma, uma decisão pode ser simples ou complexa, específica ou estratégica e suas consequências podem ser imediatas ou de longo prazo. Tais decisões podem ocorrer diante de uma oportunidade, de um problema ou de uma possibilidade de melhoria utilizando dados quantitativos ou qualitativos, dependendo da disponibilidade. (GOMES e GOMES, 2014)

Segundo ABRAMCZUK (2009), de uma forma geral o processo de decisão é formado pelas seguintes etapas:

- Reconhecimento do problema;
- Definição do objetivo;
- Definição das alternativas;
- Classificação das alternativas;
- Avaliação das alternativas;
- Tomada de Decisão.

No entanto, existem críticas a esse modelo sequencial e rígido de tomada de decisão. Para alguns estudiosos, seria mais interessante realizar um processo flexível com interações cíclicas entre as fases. Dessa forma a decisão final pode ser refinada com a melhoria na coleta e análise das alternativas. Vale ressaltar que a definição dos objetivos tem influência significativa no modelo final de decisão já que para cada objetivo são estabelecidos critérios que os representam na análise quantitativa. (ALMEIDA, 2013)

Herbert Simon é considerado o “pai” do processo decisório. Com a Teoria da Decisão explicou o comportamento humano diante dos processos e dos fundamentos adotados em uma decisão. Segundo ele, uma organização é um sistema de decisões. (PRÉVE, MORITZ e PEREIRA, 2010)

A Teoria da Decisão adota a racionalidade pragmática que se baseia em três normas. A primeira delas é a norma axiológica que considera que deve haver pelo menos um critério de preferência para ordenar as alternativas em uma decisão. Além disso, os critérios devem ser uniformes, gerais e prospectivos, ou seja, todos os



critérios devem ser adotados para todas as alternativas da mesma forma e devem ser escolhidos previamente à definição das mesmas. A norma coordenativa da racionalidade pragmática considera a ordenação das alternativas segundo a importância relativa dada aos critérios. Tal ordenação deve ser completa e transitiva, ou seja, considerar todas as alternativas e ser consistente, se é A é preferida à B e B é preferida à C, então A é preferida à C. Já a norma econômica considera o custo-benefício na ordenação das alternativas buscando a maior eficiência e o menor esforço. (ABRAMCZUK, 2009)

O processo de definição de uma família coerente de critérios deve ser exaustivo, ou seja, todos os objetivos do problema devem ser representados por um critério sem haver redundância. (GOMES e GOMES, 2014; ALMEIDA, 2013) Há três tipos de critérios, os critérios naturais que possuem interpretação comum para todos os atores, os critérios construídos usados em contextos específicos de decisão que requerem escalas qualitativas ou subjetivas e os critérios que necessitam de intermediários, ou seja, quando é preciso uma medida indireta para o que se deseja medir. Além disso, os critérios devem ser mensuráveis, operacionais e compreensíveis, ou seja, não pode haver ambiguidade na sua interpretação. (ALMEIDA, 2013)

De acordo com a teoria da decisão, as pessoas são racionais em casos que requerem decisões simples, porém em circunstâncias mais complexas, que possuem vários objetivos que às vezes são conflitantes, se faz necessário o uso de uma teoria para ajudar na tomada de decisão. (FERREIRA, et al., 2010) Isso ocorre porque o ser humano possui capacidade cognitiva limitada de processamento do cérebro, o que o impede de entender todos os sistemas e processar todas as informações existentes. Além disso, pode haver o desconhecimento de algumas alternativas do problema e até mesmo a influência de aspectos emocionais. (GOMES e GOMES, 2014)

A Pesquisa Operacional (PO) é uma área da matemática que busca a otimização de processos organizacionais e o aperfeiçoamento de métodos de resolução de problemas e apoio à tomada de decisão. Ela teve início na Segunda Guerra Mundial, circunstância onde era preciso decidir onde aplicar os poucos recursos nas diversas operações militares. Posteriormente, a PO foi adotada pelas empresas civis e em 1949 o *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) iniciou um programa de estudos sobre o tema. Na década de 50, a PO ganha destaque em diferentes indústrias com

a necessidade de otimizar custos, despesas e lucros, sendo alguns métodos usados até hoje. Nos anos 60, surgem métodos probabilísticos para a tomada de decisão adotados até a década passada, porém substituídos por outros menos complexos matematicamente. (GOMES e GOMES, 2014)

A partir da década de 1970 surgem os Métodos de Apoio Multicritério à Decisão (MAMD) ou, em inglês, *Multicriteria Decision Making* (MCDM) largamente adotados até hoje. (FERREIRA, et al., 2010) Um problema de decisão multicritério ocorre quando há pelo menos duas alternativas possíveis de serem escolhidas e deseja-se atender a múltiplos objetivos de forma integrada. Tais objetivos são relacionados a variáveis, muitas vezes em unidades de medida diferentes, chamadas de critérios, atributos ou dimensões, que possibilitam a avaliação de cada alternativa. (ALMEIDA, 2013)

Segundo FERREIRA, et al., (2010) existem alguns elementos presentes em qualquer problema de decisão multicritério:

- Decisor: grupo ou indivíduo que a partir de suas preferências define suas escolhas;
- Analista: responsável por interpretar e quantificar as opiniões dos decisores além de estruturar o problema, adotar um modelo matemático e apresentar os resultados da decisão;
- Modelo: método matemático responsável por transformar as preferências dos decisores em dados quantitativos;
- Alternativas: opções independentes para solucionar o problema;
- Critérios/atributos: os atributos são inerentes às alternativas e possibilitam comparações entre si. Ao definir valores aos atributos por meio das preferências do decisor, obtém-se os critérios.

O grupo de tomadores de decisão pode conter funcionários da própria organização e especialistas externos, formando um time heterogêneo com diferentes pontos de vista. (LUZ, SELLITTO e GOMES, 2006) A tomada de decisão em grupo dificulta a ocorrência de vieses, que podem acontecer em casos com um único tomador de decisão. (KUCUKALTAN, IRANI e AKTAS, 2016) O processo de decisão em grupo não precisa ocorrer no mesmo espaço físico e a comunicação pode ser falada ou escrita. A decisão final pode ser democrática, hierárquica ou conflitante. (GOMES e GOMES, 2014)

As preferências do decisor são determinadas por seus valores pessoais em todas as esferas da sua vida. Em sua cultura ocorre a influência de ideias natas e aprendidas, de crenças religiosas, da sociedade em que vive, do seu desenvolvimento intelectual, valores familiares, políticos e ambiente de trabalho. As preferências individuais devem ser combinadas no caso de um grupo de decisores e o processo deve ser revisado com frequência para averiguar se alguma preferência foi modificada com o tempo. Além disso, deve-se verificar a ocorrência de inconsistências e trata-las. Como as preferências do decisor são claramente expostas em um MAMD, sua credibilidade aumenta devido a organização e transparência do processo. (GOMES e GOMES, 2014)

É importante que o decisor possua poder sobre a decisão em questão já que posteriormente será responsabilizado pelas consequências da mesma. Especialistas externos ou internos são responsáveis pelas informações que agregam ao processo, mas não diretamente pela decisão. (ALMEIDA, 2013) O grupo ou indivíduo decisor calcula as consequências de sua decisão em um ambiente incerto sobre o qual não tem controle. (GOMES e GOMES, 2014) A responsabilidade se torna maior quando as consequências do processo são em parte desconhecidas ou quando elas são irreversíveis, o que é muito comum em decisões de problemas ambientais. Por isso é relevante o uso da teoria da decisão e dos MAMD na gestão ambiental. (LUZ, SELLITTO e GOMES, 2006)

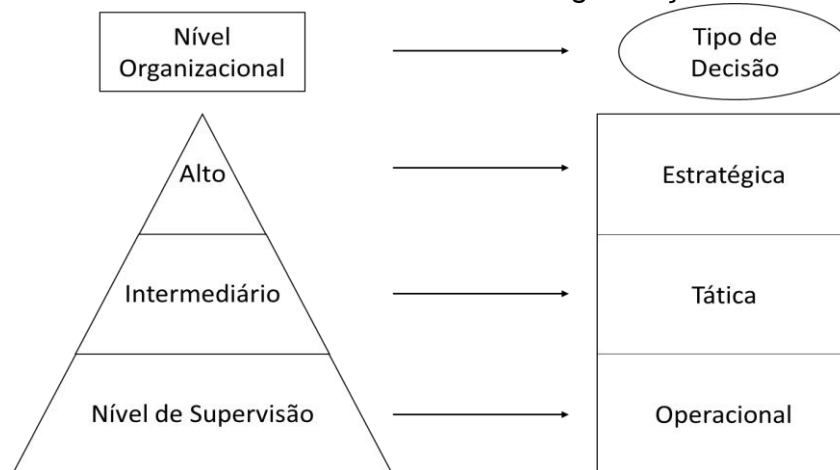
Entretanto, uma decisão não é tomada apenas por um ordenamento de alternativas com um algoritmo matemático. O resultado da aplicação de um MAMD serve como referência para uma escolha, diminuindo a subjetividade da mesma. (ABRAMCZUK, 2009) A subjetividade é inerente ao problema de decisão uma vez que considera preferências humanas em sua solução, porém o juízo de valor do decisor é legitimado pelos modelos matemáticos. (FERREIRA, et al., 2010; GOMES e GOMES, 2014)

Dentro das organizações cresce a preocupação com a formulação e resolução de problemas multicritérios uma vez que isso impacta diretamente na competitividade das mesmas. (ALMEIDA, 2013) Busca-se tomar decisões cada vez mais rápidas, adequadas e abrangentes, minimizando perdas e maximizando ganhos. O uso de MAMD em organizações de grande porte facilita a comunicação e integração das partes envolvidas no processo de tomada de decisão. (GOMES e GOMES, 2014)

Nas empresas, as decisões estratégicas são mais complexas e necessitam de um processo de tomada de decisão estruturado. Elas determinam os objetivos da empresa e sua direção, sendo definidas pela alta administração. Já as decisões táticas são mais específicas e concretas, podendo utilizar a capacidade intuitiva do decisor. Geralmente são realizadas pela gerência intermediária da organização com o objetivo de desenvolver as metas estratégicas definidas no nível acima. Por sua vez, as decisões operacionais se referem a forma de conduzir as ações diárias, sendo tomadas no nível mais baixo na estrutura organizacional. Os novos modelos de gestão têm aproximado esses degraus hierárquicos de forma que a tomada de decisão seja um processo mais democrático e participativo. Assim há uma integração dos sistemas de informação operacional, tático e estratégico possibilitando maior dinamismo e coerência à organização. (PRÉVE, MORITZ e PEREIRA, 2010)

De forma esquemática, a Figura 9 apresenta os níveis organizacionais de uma empresa e seus respectivos tipos de decisão em um modelo convencional de decisão.

Figura 9 - Níveis de Tomada de Decisão em uma Organização



Fonte: PRÉVE, MORITZ e PEREIRA, 2010

Diariamente várias decisões são tomadas em uma empresa e muitas delas não utilizam um método formal, porém a construção de modelos e a escolha de métodos que considerem o modelo organizacional e a própria cultura da empresa são de grande relevância. (ALMEIDA, 2013)

Um processo de tomada de decisão também ocorre quando existe um conjunto de ações ou projetos a serem adotados, porém por limitações de recursos

financeiros, físicos ou humanos deve-se prioriza-los para realizar aqueles mais críticos. De acordo com o princípio de Pareto, poucos atributos absorvem a maior parte dos impactos, assim ao ordenar as alternativas é possível otimizar custos investindo nas ações ou projetos de maior impacto. (DE MARTINI e GUSMÃO, 2009)

A facilidade em adquirir uma quantidade cada vez maior de informações graças aos avanços da tecnologia não impacta diretamente em melhores decisões nas organizações. A habilidade em aprimorar a qualidade da informação que representa um diferencial competitivo em um mundo globalizado. (PRÉVE, MORITZ e PEREIRA, 2010)

O processo decisório pode enfrentar dificuldades quando os critérios não estão claramente definidos ou estão interligados, quando os decisores possuem preferências conflitantes ou que se alteram ao longo do processo ou ainda quando as alternativas possuem difícil quantificação. Além disso, é preciso tomar cuidado em reconhecer corretamente o problema e verificar se nada foi omitido, analisar a disponibilidade de tempo e recursos humanos para obter a solução do problema e definir corretamente as escalas adotadas. A falta de sucesso na tomada de decisão pode ocorrer por precipitação no processo em obter as conclusões sem analisar todos os aspectos importantes da mesma, por erro na estrutura de definição do problema ou por não aperfeiçoar o processo com as análises realizadas pela equipe. (GOMES e GOMES, 2014)

Uma decisão imprópria pode acontecer também por falta de qualidade nas informações adotadas ou pelo processo em si ter sido mal orientado. Além disso, existem diversas armadilhas psicológicas como a ancoragem, processo onde se dá maior peso à informação recebida inicialmente influenciando julgamentos posteriores. Outra armadilha é a tendência em manter o status quo, tomando decisões que justificam decisões anteriores ou enquadrando o problema de forma inadequada. Além disso, existe a armadilha da prudência ou sobreconfiança, que ocorre em situações de incerteza em que se ajusta a estimativa do lado mais seguro. (ALMEIDA, 2013)

### 1.3.2. Métodos de Apoio Multicritério à Decisão (MAMD)

Existe uma grande quantidade de MAMD na literatura. (ALMEIDA, 2013) Os MAMD têm a função de ajudar os analistas e tomadores de decisão a estruturar seu problema e obter a melhor solução diante de diferentes critérios. (FERREIRA, et al., 2010) Os modelos adotados pelos métodos são representações simplificadas da realidade, uma vez que esta é muito complexa. A qualidade do modelo é diretamente afetada pela disponibilidade de tempo e recursos financeiros e humanos. (GOMES e GOMES, 2014)

Não há um método favorito na área de negócios. A escolha do método, as regras e os procedimentos para resolver problemas dependem do problema em questão, do projeto e do objetivo da pesquisa. (KUCUKALTAN, IRANI e AKTAS, 2016) Assim como não existe decisão certa ou errada, também não há método correto ou não. A grande questão é a escolha do método mais adequado à proposição e às condições existentes.

Segundo FERREIRA, et al. (2010), todos os MAMD seguem determinadas etapas:

- Identificação do grupo de tomadores de decisão;
- Definição dos critérios de avaliação do problema;
- Identificação das alternativas;
- Determinação da importância relativa dos critérios por meio da atribuição de pesos;
- Avaliação das alternativas em relação aos critérios;
- Determinação da avaliação global de cada alternativa.

Segundo ALMEIDA (2013), a seleção do MAMD é parte de grande importância no processo de tomada de decisão. Os fatores que devem ser considerados na seleção do método são:

- Problema analisado;
- Contexto considerado;
- Disponibilidade de tempo para decisão;
- Esforço requerido pelo método;
- Disponibilidade de informações;
- Precisão requerida pelo resultado;
- Necessidade de justificativa da decisão.

Entretanto, em um problema de decisão pode ser adotado um MAMD considerado mais simplista a fim de atender a um dos pontos citados anteriormente ou de evitar maior complexidade à sua resolução. É preciso avaliar o custo-benefício dessa escolha, que conseqüentemente acarreta em menor precisão nos resultados. (ALMEIDA, 2013) Vale ressaltar que posteriormente o modelo pode ser aprimorado com discussões entre os membros envolvidos. (GOMES e GOMES, 2014)

Na PO duas vertentes com metodologias diferentes se desenvolveram. A escola americana, conhecida como MCDM, utiliza o método discreto na busca da solução ótima, sendo seus métodos mais conhecidos a AHP e *Multi-Attribute Utility Theory* (MAUT). Já a escola europeia, também conhecida como francesa, construtivista ou *Multicriteria Decision Aid* (MCDA), é menos adotada por ter bases matemáticas menos robustas. Sua modelagem do problema é mais flexível, uma vez que não exige a comparação entre todas as alternativas e uma estrutura hierárquica dos critérios. Os métodos mais adotados por essa escola são *Elimination et Choix Traduisant la Réalité* (ELECTRE) e *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE). (GOMES e GOMES, 2014)

A AHP, criada por Thomas Saaty em 1970, é um MAMD pioneiro adotado extensivamente até hoje em todo o mundo uma vez que não requer grande esforço do decisor. Sua forma particular de modelagem das preferências transforma decisões complexas em comparações par a par. O método possui estrutura hierárquica e são considerados tanto aspectos qualitativos como quantitativos para classificar as alternativas. (PERDIGÃO, et al., 2012)

Como uma extensão da AHP, Thomas Saaty desenvolveu o método *Analytic Network Process* (ANP) que pode ser usado sozinho ou combinado a outros MAMD. O ANP possui uma abordagem de supermatriz e é utilizado em casos com interdependência preferencial. É uma ferramenta abrangente que adota o procedimento de agregação multiplicativo. (KUCUKALTAN, IRANI e AKTAS, 2016)

A MAUT é uma derivação da Teoria da Utilidade e da Teoria da Decisão. (ALMEIDA, 2013) Sendo que a MAUT inclui na teoria da utilidade o tratamento de problemas com múltiplos objetivos. Na técnica, há um processo bem estruturado de especificação de parâmetros e condições do processo, denominado elicitación. Ela pode ser adotada em problemas discretos ou contínuos, porém é mais frequente em problemas discretos. (PERDIGÃO, et al., 2012)

Um tipo de MAMD muito utilizado são os métodos de sobreclassificação também conhecidos como métodos de superação, prevalência ou subordinação e síntese. Eles se baseiam na comparação par a par entre as alternativas e, em geral, não adotam a agregação com critério único de síntese para cada alternativa. Os métodos mais adotados são as famílias ELECTRE e PROMETHEE. (ALMEIDA, 2013)

O ELECTRE I é adotado para estruturação do problema, o ELECTRE II é um método de decisão e o ELECTRE III considera as incertezas dos critérios com valores difusos ou fuzzy. Já a família PROMETHÉE, criada em 1985 por Brans e Vincke, possui o método PROMETHÉE I que realiza uma pré-ordem parcial das alternativas enquanto o PROMETHÉE II ordena as mesmas em uma pré-ordem completa, sendo mais eficaz. A família PROMETHÉE se diferencia de outros métodos pelos critérios adotados, uma vez que podem ser utilizadas seis funções para representar os critérios e consequentemente as preferências do decisor. (PERDIGÃO, et al., 2012)

O método *Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) adota o conceito de distância a um ponto ideal ou a um ponto anti-ideal (nadir) para posicionar as alternativas. O ponto ideal não é viável pois corresponde à alternativa com as melhores consequências para todos os critérios. Já o nadir, como seu oposto, representa a combinação das piores consequências em todos os critérios. (ALMEIDA, 2013)

O método *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (Macbeth), criado em 1994 por Carlos Bana e Costa e Jean Claude Vansick, pertence a escola europeia de tomada de decisão. O MAMD adota julgamentos qualitativos para medir a atratividade do decisor por uma alternativa. Através de uma escala de diferenças de atratividade (muito fraca, fraca, muito moderada, forte, muito forte) é possível quantificar as alternativas. O zero equivale a falta de atratividade ou repulsa por uma alternativa. (PERDIGÃO, et al., 2012)

O Método de Soma Ponderada (MSP) ou *Weighted Sum Method*, em inglês, pertence à escola americana de tomada de decisão. Ele é aplicado em questões multicritério e exige que os tomadores de decisão estabeleçam um peso fixo para cada critério. Com isso o problema multicritério se transforma em um problema de objetivo único. Posteriormente atribui-se valores a cada alternativa de acordo com cada critério de forma a obter uma soma ponderada para cada alternativa. (HUANG, et. al, 2014)



Na área ambiental são utilizadas várias técnicas para priorização de alternativas. Todavia algumas delas necessitam de muitos dados para sua aplicação e são consideradas apenas em empreendimentos novos de grande porte econômico e impacto ambiental. Para organizações já existentes, essas técnicas se tornam inviáveis pelo custo de execução. Assim as técnicas mais apropriadas são a AHP e o método adotado pela *Environmental Protection Agency* (EPA) já que unem informações qualitativas e quantitativas para priorização e seleção das alternativas. (DE MARTINI e GUSMÃO, 2009)

Muitas questões relacionadas a indicadores consistem em um problema de decisão multicritério. Na elaboração de um indicador deve-se considerar os diferentes objetivos da organização e por isso deve-se utilizar um MAMD para agregar todos os critérios. (ALMEIDA, 2013) Um típico problema de tomada de decisão ocorre na seleção e priorização de *Key Performance Indicators* (KPI) em um conjunto de indicadores. Uma vez que é preciso definir sob diferentes óticas quais serão os critérios de avaliação e a importância de cada um deles, este se torna um problema de decisão multicriterial. A seleção e priorização de KPIs pode ser realizada a partir de vários métodos MAMD. Os mais utilizados e citados na literatura são AHP, ANP, TOPSIS, ELECTRE e SMART. (PODGÓRSKI, 2015) No caso do desenvolvimento de índices, as empresas possuem estruturas flexíveis já que depende da sua disponibilidade de recursos humanos e financeiros. (HSU, JOHNSON e LOYD, 2013) Exemplos na literatura de índices ambientais que adotam a AHP como método de ponderação são apresentados na tabela 7.

Os resultados de diferentes MAMD para um mesmo problema não podem ser comparados uma vez que eles possuem estruturas axiomáticas diferentes e são feitas parametrizações distintas. Existem casos onde são necessários ajustes na modelagem do método ou até mesmo elabora-se um novo método para atender às necessidades do problema. (ALMEIDA, 2013) A adoção de uma ou mais metodologias adequadas tem grande influência na qualidade da tomada de decisão. No caso de problemas complexos, eles podem ser decompostos em partes para facilitar seu entendimento e resolução, sendo a integração das soluções parciais a solução do problema como um todo. (GOMES e GOMES, 2014)

Assim, para obter um índice na área ambiental, a presente dissertação opta por separar a resolução do problema em duas etapas com uso de técnicas diferentes, sendo cada uma mais adequada a sua respectiva parte. A associação de dois

MAMD teve como objetivo gerar um índice ambiental de forma eficiente, obtendo um resultado robusto, sem requerer grande esforço e tempo dos tomadores de decisão, o que geralmente é escasso em uma organização. Para isso adotou-se a técnica AHP em um momento inicial de definição da importância relativa dos critérios e avaliação do índice com relação aos critérios. Depois foi utilizado o MSP para avaliação dos indicadores em relação aos critérios.

Essa estratégia foi adotada porque o uso da AHP para resolução do problema inteiro seria muito custoso devido à grande quantidade de indicadores a serem comparadas par a par diante de cada critério. A escolha da técnica se justifica pela adequação ao problema estudado, pela frequente utilização em casos semelhantes na literatura, conforme apresentado na tabela 7, e pela sua relevância acadêmica observada em artigos de revisão da técnica. Já opção pelo método de soma ponderada ocorreu devido a sua facilidade de aplicação quando há um número elevado de indicadores a serem avaliados além de seu amplo uso na literatura. Vale ressaltar que na literatura são adotadas integrações entre diferentes técnicas de tomada de decisão para resolução de problemas. Todavia não foi encontrado nenhum caso onde fosse feita a associação entre a AHP e o MSP para indústria petroquímica.

De acordo com FERREIRA, et al. (2010), o conjunto de alternativas pode ser dividido em subconjuntos onde as alternativas são comparadas e ordenadas de acordo com sua relevância para solução do problema. Assim, neste trabalho a questão ambiental foi dividida em três subconjuntos, Efluentes Líquidos, Emissões Atmosféricas e Resíduos Sólidos, de forma a comparar e analisar separadamente essas três vertentes ambientais da organização.

Além das considerações já abordadas para a seleção de um MAMD, este trabalho definiu algumas premissas para escolha do método mais adequado:

- Possuir uma metodologia com algoritmo simples de forma a simular o problema em planilhas eletrônicas sem depender de programas licenciados;
- Não precisar de especialistas para operar o modelo, sendo possível fazer alterações e atualizações com um treinamento simples;
- Possuir relevância na academia, com considerável número de publicações que adotam a técnica em problemas semelhantes ao proposto neste trabalho.

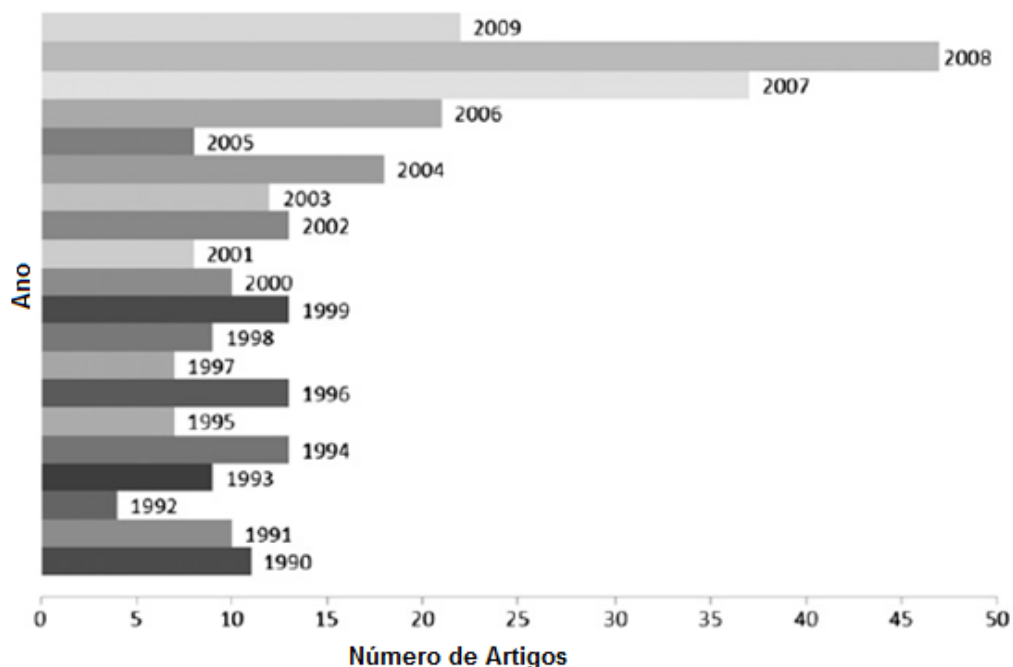
A fim de verificar sua relevância acadêmica, buscou-se artigos de revisão sobre a técnica AHP. SUBRAMANIAN e RAMANATHAN (2012) analisaram 291 artigos

publicados em 84 revistas internacionais no período de 1990 a 2009 sobre a aplicação da AHP no gerenciamento de operações. Destes, 19 artigos tinham como tema a decisão estratégica na área ambiental. Os principais pontos observados nessa revisão foram:

- Em 80% dos artigos realizou-se estudos de caso enquanto que em 20% deles analisou-se o desenvolvimento de novos modelos para a técnica;
- Em 51% dos casos a AHP foi aplicada no setor de manufatura e em 49% dos casos no setor de serviços;
- Em 51% dos casos a técnica foi aplicada em conjunto com outro método enquanto que em 49% foi adotada sozinha;
- Os temas mais abordados foram design de processos e produtos e o gerenciamento da cadeia de suprimentos.

A Figura 10 apresenta a distribuição anual de artigos com aplicação da AHP na gestão de operações. Nota-se o aumento no número de artigos ao longo dos anos, apesar da diminuição no ano de 2009.

Figura 10 - Distribuição anual de artigos em gerenciamento de operações com uso da AHP



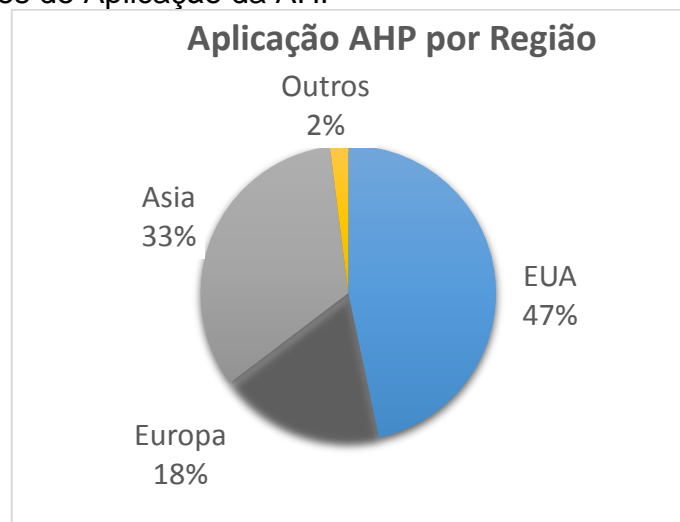
Fonte: SUBRAMANIAN e RAMANATHAN, 2012

VAIDYA e KUMAR (2006) analisaram 150 artigos referentes aos anos de 1986 a 2003 em outro artigo de revisão das aplicações da técnica. Foram realizadas as seguintes observações com relação ao futuro da aplicação da AHP:

- A técnica será usada amplamente para auxílio a tomada de decisão;
- A utilização da AHP apresenta crescimento em países em desenvolvimento, o que se relaciona ao desenvolvimento econômico desses países, como Índia e China, entre outros;
- Grande parte das pesquisas ocorre no EUA, onde a técnica foi criada. Seu foco geralmente ocorre na combinação de outras técnicas com a AHP, aproveitando sua versatilidade;
- O uso de softwares ocorre geralmente em casos mais complexos decorrentes da aplicação integrada da AHP com outras técnicas.

A Figura 11 apresenta os artigos analisados por VAIDYA e KUMAR (2006) separados por regiões. Nota-se uma predominância dos EUA, país natal do criador da técnica, e sua relevância na Ásia.

Figura 11 - Regiões de Aplicação da AHP



Fonte: VAIDYA e KUMAR (2006)

RUSSO e CAMANHO (2015) em um artigo de revisão da AHP avaliaram 33 artigos publicados no período de 2005 a 2015. O foco do trabalho foi analisar como é feita a definição e medição dos critérios no uso da técnica em casos reais. Verificou-se que os critérios, em sua maioria, foram definidos pela literatura ou por especialistas e seus pesos foram obtidos pela AHP, enquanto que outras técnicas foram utilizadas para avaliar as alternativas. Dentre o grupo de artigos analisados, dez tinham como foco o ranqueamento de indicadores. Com relação ao grupo decisor, a maioria dos casos utilizou o método de agregação de julgamento

individual para calcular os critérios de pesagem, ou seja, a cada comparação pareada os julgamentos individuais são unificados.

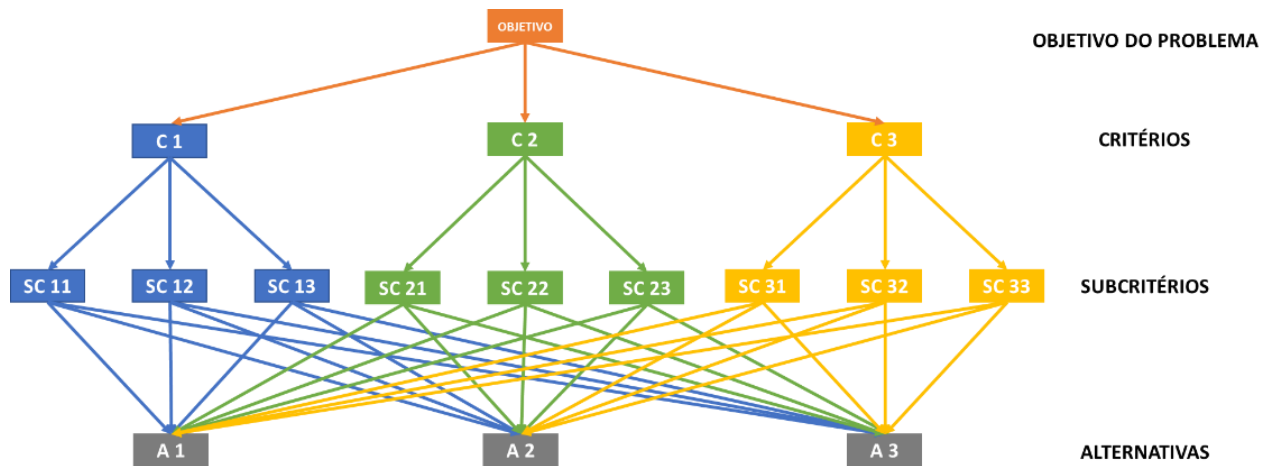
### 1.3.3. Método Análise Hierárquica de Processos (AHP)

A AHP é um dos MAMD mais conhecidos e utilizados, sendo muito explorado na literatura. (LUZ, SELLITTO e GOMES, 2006; PODGÓRSKI, 2015) Isso ocorre devido à simplicidade do método, à disponibilidade de software de apoio e à ampla gama de aplicações práticas possíveis. (PODGÓRSKI, 2015) Desde a criação do método na década de 70, Thomas Saaty prestou consultoria aos governos de vários países, entre eles a França, o Egito, o Sudão e os Estados Unidos, além de grandes empresas como Kodak, Monsanto, Boeing, Nestlé e BMW. No Brasil, a AHP foi utilizada no governo do estado de São Paulo na gestão Mário Covas, pela Embraer, Banco do Brasil e Bradesco, entre outros. (SAATY, 2003)

Segundo HYUN *et. al* (2015), a AHP segue o conceito do cérebro humano de tomar decisões com análises em fases e de forma hierárquica. Os três princípios que o ser humano utiliza na resolução de problemas são as principais bases teóricas da AHP:

- Estruturação hierárquica: consiste na formulação do problema, que em sua estrutura básica possui o objetivo a ser atingido ou problema a ser resolvido na parte superior seguida pelos critérios e alternativas na parte inferior, sendo que os critérios podem ser divididos em subcritérios. A Figura 12 apresenta o desenho esquemático de uma estrutura genérica.

Figura 12 - Estrutura Hierárquica Genérica AHP

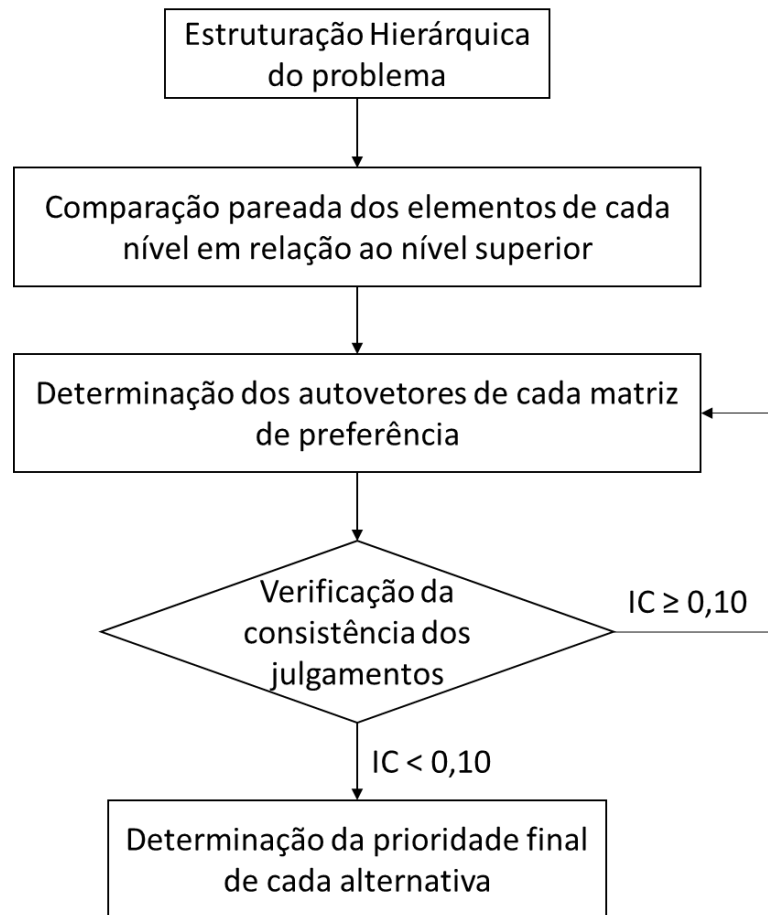


Fonte: A autora, 2017.

- Estabelecimento de prioridades: a definição da importância relativa na técnica ocorre por meio da comparação de pares simples, assim como a capacidade humana de reconhecer relações entre objetos sob determinados critérios e determinar preferências.
- Consistência lógica das prioridades: as preferências do decisor são verificadas por meio do índice de consistência (IC), o que aumenta a racionalidade e a lógica do processo.

Esses princípios são adotados individualmente em outras técnicas, porém a sua combinação em um único método o torna mais robusto. (CASTRO, et. al., 2005) De forma esquemática, a aplicação da AHP pode ser entendida com o seguinte fluxograma na Figura 13.

Figura 13 - Fluxograma AHP



Fonte: A autora, 2017.

Para SAATY (2003), o importante é simplificar a tomada de decisão. Ao observar que as pessoas expressam em palavras a preferência por algo e a intensidade dessa preferência, criou uma escala de 1 a 9 que possibilita racionalizar percepções e experiências e tomar decisão com base em uma análise quantitativa. A Tabela 8 mostra a escala de preferências adotada na AHP.

Tabela 8 - Escala de Preferências AHP

<b>Intensidade da importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
1	Importância igual	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra.
5	Importância forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra.
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida e sua dominância é demonstrada na prática.
9	Importância extrema	Uma atividade é favorecida em relação a outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando o consenso não for obtido entre duas intensidades da escala, adota-se um valor intermediário.

Fonte: SAATY (1990)

Assim constrói-se uma matriz de preferências ( $n \times n$ ) para cada nível hierárquico, como objetivo de comparar tais elementos de forma pareada em relação ao nível imediatamente superior. São realizados  $n.(n-1)/2$  julgamentos, começando pelo nível mais alto. (CASTRO, et. al., 2005) Um exemplo de matriz de preferências genérico é apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Matriz de Preferências Genérica

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>A</b>	1	1/X	1/Y
<b>B</b>	X	1	1/Z
<b>C</b>	Y	Z	1

Fonte: A autora, 2017.

Dessa forma, os critérios são avaliados em relação ao objetivo geral do problema, os subcritérios são comparados em relação ao seu respectivo critério e as alternativas são analisadas entre si em relação a cada subcritério. As matrizes de



preferência são do tipo quadrada e possuem diagonal principal igual a 1, uma vez que o valor  $a_{ij}$  representa de forma quantitativa a intensidade da importância ( $\alpha$ ) do elemento  $X_i$  em relação ao elemento  $X_j$ , sejam tais elementos critérios, subcritérios ou alternativas. Dessa forma, segundo SAATY (1990), tem-se que:

- Se  $a_{ij} = \alpha$ ,  
Então  $a_{ji} = 1/\alpha$ , sendo  $\alpha \neq 0$ ;
- Se  $X_i$  possui igual importância que  $X_j$ ,  
Então  $a_{ij} = 1$ ,  $a_{ji} = 1$  e  $a_{ii} = 1$ , para todo  $i$ .

De acordo com a estrutura genérica da Figura 12, obtém-se as seguintes matrizes de preferência representadas na Figura 15, Figura 16 e Figura 17.

Figura 15 - Matriz de Preferência de Critérios Genérica

	C1	C2	C3
C1	1	$a_{12}$	$a_{13}$
C2	$1/a_{12}$	1	$a_{23}$
C3	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$	1

Fonte: A autora, 2017.

Figura 16 - Matrizes de Preferência de Subcritérios Genéricas

	SC 11	SC 12	SC 13			SC 21	SC 22	SC 23			SC 31	SC 32	SC 33	
SC 11	1	$a_{12}$	$a_{13}$			SC 21	1	$a_{12}$	$a_{13}$		SC 31	1	$a_{12}$	$a_{13}$
SC 12	$1/a_{12}$	1	$a_{23}$			SC 22	$1/a_{12}$	1	$a_{23}$		SC 32	$1/a_{12}$	1	$a_{23}$
SC 13	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$	1			SC 23	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$	1		SC 33	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$	1

Fonte: A autora, 2017.

Figura 17 - Matriz de Preferência das Alternativas Genérica

	A1	A2	A3
A1	1	$a_{12}$	$a_{13}$
A2	$1/a_{12}$	1	$a_{23}$
A3	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$	1

Fonte: A autora, 2017.

Quando a decisão é tomada em grupo, a matriz de preferência global deve considerar a média das preferências individuais dos decisores. Todavia não se deve adotar a média aritmética porque com ela não seria respeitada a restrição da AHP de que  $a_{ij} = 1/a_{ji}$  para qualquer  $i \neq j$ , mesmo se a matriz individual de cada decisor respeitasse. Para garantir o cumprimento dessa regra é preciso adotar a média

geométrica. (ENEA e PIAZZA, 2004) Se os decisores possuem diferentes posições na hierarquia da empresa ou do grupo, seus julgamentos podem ser elevados a um fator que represente tal importância para então depois ser realizada a média geométrica. (SAATY, 2008)

Posteriormente é preciso normalizar a matriz de preferências, dividindo cada elemento da coluna ( $a_{ij}$ ) pelo somatório da respectiva coluna. Como exemplo, a Figura 18 representa a normalização da matriz de preferência de critérios genérica apresentada na Figura 15.

Figura 18 - Matriz de Preferência de Critérios Genérica Normalizada

	C1	C2	C3
C1	$\frac{1}{1 + \frac{1}{a_{12}} + \frac{1}{a_{13}}}$	$\frac{a_{12}}{a_{12} + 1 + \frac{1}{a_{23}}}$	$\frac{a_{13}}{a_{13} + a_{23} + 1}$
C2	$\frac{\frac{1}{a_{12}}}{1 + \frac{1}{a_{12}} + \frac{1}{a_{13}}}$	$\frac{1}{a_{12} + 1 + \frac{1}{a_{23}}}$	$\frac{a_{23}}{a_{13} + a_{23} + 1}$
C3	$\frac{\frac{1}{a_{13}}}{1 + \frac{1}{a_{12}} + \frac{1}{a_{13}}}$	$\frac{\frac{1}{a_{23}}}{a_{12} + 1 + \frac{1}{a_{23}}}$	$\frac{1}{a_{13} + a_{23} + 1}$

Fonte: A autora, 2017.

Em seguida é calculado o autovetor, vetor de prioridade ou vetor de Eigen, que fornece a importância relativa de cada elemento para cumprir o objetivo do problema. O valor de cada elemento é obtido pela média entre os valores de cada linha da matriz normalizada. Geralmente realiza-se o cálculo aproximado para simplificar matematicamente o processo, uma vez que a diferença entre o valor real e o aproximado é menor que 10%. O somatório dos valores do vetor de Eigen é sempre igual a 1. (VARGAS, 2010) Para exemplificar, a Figura 19 apresenta o cálculo do autovetor da matriz de preferência de critérios genérica.

Figura 19 - Cálculo Autovetor Genérico

Autovetor	
<b>C1</b>	$\frac{\frac{1}{1+\frac{1}{a_{12}}+\frac{1}{a_{13}}} + \frac{a_{12}}{a_{12}+1+\frac{1}{a_{23}}} + \frac{a_{13}}{a_{13}+a_{23}+1}}{3}$
<b>C2</b>	$\frac{\frac{\frac{1}{a_{12}}}{1+\frac{1}{a_{12}}+\frac{1}{a_{13}}} + \frac{1}{a_{12}+1+\frac{1}{a_{23}}} + \frac{a_{23}}{a_{13}+a_{23}+1}}{3}$
<b>C3</b>	$\frac{\frac{\frac{1}{a_{13}}}{1+\frac{1}{a_{12}}+\frac{1}{a_{13}}} + \frac{\frac{1}{a_{23}}}{a_{12}+1+\frac{1}{a_{23}}} + \frac{1}{a_{13}+a_{23}+1}}{3}$

Fonte: A autora, 2017.

Depois é preciso verificar a consistência dos julgamentos dos decisores, ou seja, se o decisor diz que A é mais importante do que B e que B é mais importante do que C, seria inconsistente dizer que A é menos importante do que C. Assim, calcula-se o número principal de Eigen ou autovalor ( $\lambda_{max}$ ) através do somatório do produto de cada elemento do autovetor pelo total da respectiva coluna da matriz de preferências original. (VARGAS, 2010) Um exemplo de cálculo do autovalor da matriz de preferência de critérios genérica pode ser visto na Equação 1.

$$\begin{aligned}
 \lambda_{max} = & \left( \frac{\frac{1}{1+\frac{1}{a_{12}}+\frac{1}{a_{13}}} + \frac{a_{12}}{a_{12}+1+\frac{1}{a_{23}}} + \frac{a_{13}}{a_{13}+a_{23}+1}}{3} \right) \times \left( 1 + \frac{1}{a_{12}} + \frac{1}{a_{13}} \right) \\
 & + \left( \frac{\frac{\frac{1}{a_{12}}}{1+\frac{1}{a_{12}}+\frac{1}{a_{13}}} + \frac{1}{a_{12}+1+\frac{1}{a_{23}}} + \frac{a_{23}}{a_{13}+a_{23}+1}}{3} \right) \times \left( a_{12} + 1 + \frac{1}{a_{23}} \right) \\
 & + \left( \frac{\frac{\frac{1}{a_{13}}}{1+\frac{1}{a_{12}}+\frac{1}{a_{13}}} + \frac{\frac{1}{a_{23}}}{a_{12}+1+\frac{1}{a_{23}}} + \frac{1}{a_{13}+a_{23}+1}}{3} \right) \times (a_{13} + a_{23} + 1)
 \end{aligned} \tag{1}$$

Com isso, é possível calcular o IC pela Equação 2, sendo n a ordem da matriz.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

A análise do IC ocorre com o cálculo da taxa de consistência (TC), razão entre o IC e o índice de consistência aleatória (IA), representada na Equação 3. (VARGAS, 2010)

$$TC = \frac{IC}{IA} < 0,1 \sim 10\% \quad (3)$$

A TC representa a probabilidade do julgamento dos decisores serem puramente aleatórios e não fruto de um julgamento racional. Saaty (1990) definiu arbitrariamente que as preferências dos decisores devem ser consideradas consistentes se a TC for menor que 10%. Para valores de TC maiores, sugere-se uma revisão na matriz de preferências (LUZ, SELLITTO e GOMES, 2006). O valor do IA é fixo e depende da quantidade de elementos avaliados, sejam eles critérios, subcritérios ou alternativas, ou seja, equivale à ordem da matriz analisada (VARGAS, 2010). A Tabela 9 apresenta os valores de IA.

Tabela 9 Índice de Consistência Aleatória

Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: SAATY (1990)

Esses passos devem ser repetidos para todos os níveis da hierarquia de decisão. Após isso, com os autovetores dos critérios, subcritérios e alternativas, deve-se calcular a prioridade final de cada alternativa em relação ao objetivo inicial. Realiza-se o somatório dos produtos entre a importância relativa do subcritério, com a importância relativa do seu respectivo critério e a importância relativa da alternativa quando julgada em relação àquele subcritério.

Existem várias ferramentas na área de TI que facilitam e tornam mais rápida a aplicação da AHP. Alguns exemplos são o software *Expert Choice* desenvolvido por Saaty, Hipre 3+, ABC AHP, Decisão Lens (<http://www.decisionlens.com>) e Makeit-Rational (<http://makeitrational.com>). Há versões gratuitas dos *softwares*, disponíveis para download ou uso online. (Podgórski, 2015)

Uma das vantagens da AHP é a possibilidade de comparar coisas diferentes por meio da escala de preferências, além da simplificação de decisões complexas por meio de comparações paritárias.(SAATY, 2003) Contudo, o sucesso da aplicação desse MAMD é fortemente dependente da estruturação do problema de decisão, sendo fundamental a definição coerente dos critérios e alternativas.(FERREIRA, *et al.*, 2010) Além disso, uma grande quantidade de critérios e alternativas aumenta em muito o número de comparações pareadas, o que torna difícil por parte dos decisores manter a consistência nos julgamentos e eleva o trabalho computacional. Um ponto positivo é que a técnica permite avaliar o grau de consistência dos julgamentos e, se for o caso, rever a matriz de preferências.

#### 1.3.4. Método da Soma Ponderada (MSP)

Dentre os MAMD da Escola Americana, o MSP é um dos mais simples e intuitivos.Com ele um problema multiobjetivo se transforma em mono-objetivo por meio da atribuição de pesos a cada objetivo pelos tomadores de decisão. Quando comparado a outros MAMD, o MSP possui melhor desempenho computacional em relação a variável tempo. (PANTUZA, 2016)

Em sua metodologia, agrega-se as funções objetivo transformando a grandeza vetorial em uma grandeza escalar. Os resultados do MSP dependem fortemente da atribuição de pesos aos critérios e da avaliação de cada alternativa com relação aos critérios por parte dos tomadores de decisão. É importante normalizar os pesos de forma a expressar sua importância em relação aos outros em uma mesma ordem de grandeza. (LOBATO, *et al.*, 2006) A Equação 4 apresenta o MSP.

$$f(x) = \sum_{i=1}^n w_i f_i(x)$$

Onde:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Sendo:

- $f(x)$  o valor da função multiatributo para a alternativa  $x$ ,
- $n$  o número de critérios e
- $w_i$  o peso do critério  $i$ ,
- $f_i(x)$  o valor atribuído à alternativa  $x$  considerando o critério  $i$ .

A melhor alternativa será aquela com maior ou menor valor de  $f(x)$ , a depender do critério adotado. Por isso é preciso definir anteriormente qual será a avaliação seguida, se quanto maior melhor ou quanto menor melhor, de forma a manter todos os critérios no mesmo sentido. Se houver critérios com sentidos opostos, basta multiplicar por (-1) para realizar o ajuste.

Um ponto de atenção no MSP é a compensação entre critérios, uma vez que uma avaliação muito negativa em um critério pode ser compensada por uma avaliação muito positiva em outro.

No caso de decisões em grupo, deve-se consolidar os diferentes julgamentos antes de calcular a priorização final. Assim, realiza-se a média aritmética dos  $w_i$  e dos  $f_i(x)$  atribuídos por cada decisor para então obter a decisão do grupo.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Tipo de pesquisa

A dissertação aborda a construção de um modelo de um índice ambiental a partir de indicadores ambientais específicos em um estudo de caso. O problema de decisão multicritério é definido pela priorização de critérios e indicadores por especialistas utilizando as ferramentas AHP e MSP combinadas.

O desenvolvimento do estudo de caso desta dissertação está baseado na compilação de métodos de diversos autores (CASTRO, et. al., 2005; SAATY, 1990; RAFAELI e MULLER, 2007), resultando nas seguintes etapas:

- a) Revisão da literatura referente ao tema desenvolvido no trabalho;
- b) Visita técnica à empresa selecionada e reunião com o coordenador da área de Segurança e Meio Ambiente para entrevista de caráter informal, avaliação da estratégia ambiental da organização e levantamento de dados por meio de documentos;
- c) Identificação dos tomadores de decisão;
- d) Identificação dos critérios e subcritérios, alinhados à política ambiental da empresa e à revisão bibliográfica;
- e) Identificação dos indicadores ambientais adotados na companhia e levantamento de dados históricos;
- f) Priorização dos critérios e subcritérios, com a ferramenta AHP em planilha eletrônica;
- g) Avaliação dos indicadores em relação aos critérios, com a ferramenta MSP em planilha eletrônica;
- h) Determinação dos índices em planilha eletrônica;
- i) Avaliação dos resultados e proposição de melhorias.

## 2.2. Aspectos gerais da empresa estudada

A empresa selecionada para a elaboração do estudo de caso da presente dissertação é uma indústria produtora de insumos para refino de petróleo que possui destaque no seu ramo de atuação, sendo a única fornecedora na América Latina. Sua unidade está localizada em um Distrito Industrial do Estado do Rio de Janeiro desde a década de 80, sendo a maior indústria química do distrito e a terceira maior empresa do polo se avaliado o impacto ambiental. A companhia possui cerca de 500 colaboradores, entre efetivos e terceirizados, e sua produção média de 34.000 t/ano atende ao mercado interno e externo.

Assim, a missão da companhia é fornecer insumos para o refino de petróleo para as indústrias químicas e petroquímicas. Sua visão é ser uma empresa diversificada, líder no mercado sul americano na sua área, estabelecendo-se de forma rentável, competitiva e socialmente responsável. Seus valores são responsabilidade pelo bem comum, responsabilidade pelo todo, comprometimento, disciplina, confiança, trabalho em equipe, fazer acontecer, inovação e excelência. Por questão de sigilo contratual, não será divulgada a razão social da empresa, seu tipo de produto ou qualquer fluxograma de processo.

A indústria destaca-se pela obtenção das certificações ISO 9001 - Sistema de Gestão da Qualidade, ISO14001 - Sistema de Gestão Ambiental e OHSAS 18001 – Sistema de Gestão da Segurança e Saúde Ocupacional, pela conquista de prêmios e por diversas iniciativas de remediação e minimização de riscos na área socioambiental.

A gestão ambiental da empresa analisa indicadores específicos de processo. Há também um índice que avalia a adequação dos indicadores ambientais à legislação, porém ele é binário (sim ou não). Todavia, uma vez que a indústria se adequa à todas as legislações ambientais vigentes, esse índice se torna constante com valor igual a 100%.

A empresa estudada foi escolhida não só pela sua relevância na área em que atua, como também pela preocupação com a área ambiental e disponibilidade em ceder seus dados de processo e participar da pesquisa.



### **2.3. Identificação dos tomadores de decisão**

Conforme já abordado, é importante que o decisor possua poder sobre a decisão em questão já que, posteriormente, será responsabilizado pelas consequências da mesma. (ALMEIDA, 2013) Assim, o grupo de tomadores de decisão identificado para o estudo de caso, trabalha diretamente na área de Segurança e Meio Ambiente da companhia avaliada, possuindo formação técnica condizente.

O grupo é formado por seis pessoas, que ocupam os cargos de coordenador, engenheiro, analista, técnico e estagiário. O grupo é heterogêneo quanto a idade, formação e tempo de experiência, tanto na empresa estudada quanto na carreira, o que permite uma pluralidade de opiniões que enriquece a avaliação.

Apesar da amostra ser pequena, o grupo de tomadores de decisão possui qualidade devido à sua formação técnica e ao conhecimento do processo sobre o qual fizeram o julgamento. Isso é comprovado pela baixa variabilidade entre as respostas do grupo e pela consistência nas respostas dos mesmos, que se mostrou menor que o limite aceitável pela técnica AHP (10%) em todos os julgamentos.

Na coleta de informações para essa pesquisa foram utilizados os questionários apresentados no apêndice A, balizados nas metodologias das técnicas de tomada de decisão AHP e MSP.

Cada tomador de decisão respondeu ao questionário de forma individual para posterior consolidação das respostas do grupo conforme definido pela metodologia de cada técnica. Foram adotadas relevâncias iguais para todas as pessoas, ou seja, nenhum julgamento foi considerado mais importante do que o outro.

### **2.4. Identificação dos critérios e subcritérios**

Conforme visto na revisão da literatura, o processo de definição de uma família de critérios deve ser exaustivo, ou seja, deve esgotar todas as possibilidades e abranger até os mínimos pormenores, porém não deve haver redundâncias. (GOMES e GOMES, 2014; ALMEIDA, 2013) De acordo com ABRAMCZUK (2009), os critérios devem ser uniformes e gerais, ou seja, todos os critérios devem ser

adotados para todas as alternativas da mesma forma. Além disso, eles devem ser escolhidos previamente à definição das alternativas, no caso deste estudo, os indicadores.

Uma premissa adotada para definição dos critérios e subcritérios foi a possibilidade de tomada de decisão com base nos dados disponíveis atualmente na operação da companhia. Assim, o modelo proposto é um complemento da gestão ambiental realizada pela empresa, não exigindo a obtenção de informações adicionais sobre os indicadores.

Conforme recomendado por CASTRO *et. al.* (2005), não serão adotados critérios sobre a condição ambiental local porque eles avaliam a área onde a operação ocorre, sendo assim influenciada por toda a vizinhança. A empresa estudada está em uma região industrial, influenciada por diversas fábricas ao seu redor além da circulação de veículos, entre outros fatores. Assim, se fossem considerados critérios de condição ambiental, a avaliação de desempenho da empresa poderia ser influenciada por fatores externos à sua operação. A avaliação da condição ambiental cabe ao governo, ONGs e outras instituições de investigação.

Na revisão da literatura, verificou-se que há referências a ABNT NBR ISO 14001 para seleção dos critérios ambientais (CASTRO, *et. al.*, 2005; DE MARTINI e GUSMÃO, 2009). A norma cita como exemplos de fontes o desempenho atual e passado, os requisitos legais, as normas e melhores práticas reconhecidas, as informações da indústria ou do setor, a análise crítica da administração da companhia e de auditorias, a visão das partes interessadas e a pesquisa científica. Todavia, apesar das variadas propostas, são necessárias customizações em cada caso. Assim, a família de critérios e subcritérios adotada na presente dissertação foi definida de acordo com as seguintes etapas:

- a) Entrevistas informais com os tomadores de decisão para identificar os critérios adotados na operação e planejamento da companhia;
- b) Levantamento dos critérios adotados na literatura;
- c) Apresentação, discussão e aprovação da proposta de critérios e subcritérios com os tomadores de decisão.

Na Tabela 10 estão representados os critérios e subcritérios adotados na modelagem do problema de decisão. Os critérios são gerais, formando quatro grandes grupos, enquanto os subcritérios são específicos.

Tabela 10 Critérios e Subcritérios

<b>Critério</b>	<b>Subcritério</b>
<b>Socioambiental</b>	Efeito na Saúde do Trabalhador
	Efeito no Meio Ambiente
	Efeito na Comunidade Local
<b>Financeiro</b>	Investimento para Tratamento
	Manutenção
	Influência no Custo de Produção
<b>Estratégico</b>	Efeito na Reputação da Empresa
	Influência em Requisitos Legais
	Influência na Transparência da Empresa
<b>Técnico</b>	Efeito na Qualidade do Produto
	Necessidade de Mudança de Processo
	Efeito no Processo

Fonte: A autora, 2017.

Os conceitos dos subcritérios adotados são detalhados a seguir para demonstrar como deve ser sua interpretação na avaliação pelo tomador de decisão.

- **Critérios Socioambientais**

Este critério considera questões ambientais e sociais na avaliação dos indicadores. Todos os subcritérios desse grupo possuem impacto na imagem da empresa e dependendo da gravidade de um possível dano podem gerar a cassação da licença de operação da fábrica. Assim se torna fundamental monitorar os indicadores operacionais considerando os seguintes subcritérios.

- Efeito na Saúde do Trabalhador

Este subcritério avalia se uma variação no indicador afetaria a saúde humana, em especial do trabalhador em contato direto com o processo industrial. A saúde do trabalhador é um ponto muito importante para as empresas porque além de representar sua mão de obra, crucial para o funcionamento da operação, pode gerar processos trabalhistas.

- Efeito no Meio Ambiente

Este subcritério analisa se uma variação no indicador causaria danos ambientais, afetando a fauna e a flora local. O impacto da operação industrial no meio ambiente é um tema em evidência, conforme exposto na revisão bibliográfica, e as sanções de órgãos governamentais a danos ambientais são cada vez mais severas.

- Efeito na Comunidade Local

Este subcritério considera o impacto de uma variação do indicador na comunidade local próxima a instalação da indústria. Apesar da fábrica estar localizada em um distrito industrial, há uma comunidade localizada perto de sua planta, o que requer cuidados com possíveis impactos.

- **Critérios Financeiros**

A questão financeira tem grande relevância na operação de qualquer empresa. Critérios financeiros são avaliados diante de qualquer mudança na operação ou na definição de novos projetos. Assim, os indicadores operacionais também devem ser avaliados sob esse critério.

- Investimento para Tratamento

Este subcritério analisa o investimento necessário em infraestrutura na fábrica para obter melhores resultados em um indicador. Há indicadores que alcançam melhorias diante de pequenos esforços, porém em outros casos são necessários grandes investimentos para obter pequenas melhorias nos resultados.

- Manutenção

Este subcritério avalia se variações no indicador implicam em um aumento de manutenção no processo. Manutenções sempre representam custos porque mesmo que ela seja feita de forma preventiva envolve uma equipe mobilizada e às vezes até mesmo uma parada de produção.

- Influência no Custo de Produção

Este subcritério analisa se uma variação no indicador acarreta em maiores custos de produção. Estes custos são representados por gastos com matéria prima, energia, mão de obra, entre outros.

- **Crêterios Estratégicos**

A estratégia adotada pela mais alta c pula da empresa influencia sua competitividade no mercado. Todavia, os indicadores operacionais também podem impactar a estratégia empresarial, sendo importante mantê-los sob controle considerando esse aspecto.

- Efeito na Reputa o da Empresa

Este subcritério avalia se uma varia o no indicador afetaria a imagem da empresa de forma negativa. A reputa o da empresa possui valor intangível e difícil de ser recuperada. Empresas envolvidas em escândalos sofrem impactos financeiros e são preteridas pelo mercado consumidor.

- Influência em Requisitos Legais

Este subcritério analisa se a legisla o atual referente ao indicador   restritiva ou se o indicador está próximo ao limite permitido pela lei.   fundamental controlar os indicadores sob esse aspecto porque, dependendo da situa o, a empresa pode ser multada ou até mesmo interdita enquanto não houver os ajustes necessários.

- Influência na Transparência da Empresa

Este subcritério considera a importância da divulga o do indicador para a transparência dos resultados da empresa. Atualmente a transparência   um requisito valorizado no mercado porque mostra que a companhia atua de forma correta. O que inicialmente era uma ferramenta de marketing, hoje tornou-se uma ferramenta de gestão da empresa. A falta de transparência transmite a imagem de que a companhia quer ocultar algo.

- **Crêterios Técnicos**

Em qualquer indústria deve-se avaliar o efeito dos indicadores operacionais em fatores técnicos. Na indústria química isso se torna ainda mais importante uma vez que na maioria das vezes   complexo manter o processo controlado e um impacto pode acarretar em problemas operacionais.

- Efeito na Qualidade do Produto

Este subcritério avalia se uma varia o no indicador pode afetar negativamente a qualidade do produto. Na indústria química a especifica o do produto   muito

importante, se houver algo fora de especificação a produção deve ser descartada ou, se for possível, reajustada.

- Necessidade de Mudança de Processo

Este subcritério analisa se é necessária uma mudança no processo para obter melhorias nos resultados do indicador. Ajustes no processo sempre são complexos e deve-se avaliar o custo benefício de qualquer mudança.

- Efeito no Processo

Este subcritério avalia se uma variação no indicador traz prejuízos ao processo. Há indicadores que não possuem muita influência no processo como um todo, todavia existem indicadores críticos que se tiverem pequenas variações representam um impacto negativo ao processo.

## **2.5. Identificação dos indicadores**

De acordo com a ABNT NBR ISO 14.031, recomenda-se que uma organização selecione indicadores para sua avaliação de desempenho ambiental com base em aspectos ambientais significativos, os quais ela possa controlar e ter influência. Além disso, a empresa deve considerar seus critérios de desempenho ambiental e a visão das partes interessadas. Podem ser considerados também os seus requisitos legais e as informações relacionadas ao seu desempenho ambiental anual.

Por meio dos dados obtidos junto a Coordenação de Saúde, Segurança e Meio Ambiente da empresa estudada, foi possível identificar os indicadores ambientais adotados em sua gestão ambiental. A empresa monitora seus indicadores ambientais por meio de cinco grupos: efluentes líquidos, resíduos sólidos, emissões atmosféricas, energia e matéria-prima.

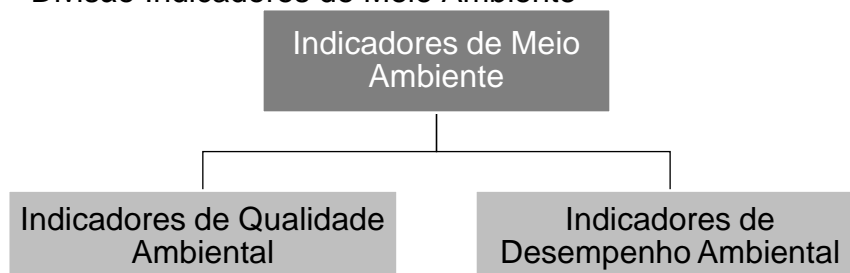
Com base na recomendação da ABNT NBR ISO 14.031 e com foco em obter um índice que mostre o impacto ambiental da operação industrial, decidiu-se por manter essa configuração de separação em grupos, usual na gestão ambiental, porém excluiu-se o grupo de energia, uma vez que seu impacto ambiental é representado

por meio do grupo de emissões atmosféricas, e o grupo de matéria prima porque seu impacto é visto no grupo de resíduos sólidos e efluentes líquidos.

A decisão de manter os indicadores separados em grupos foi tomada para auxiliar na análise de cada uma dessas áreas, verificando se eventuais desvios no índice ambiental ocorreram devido a variações localizadas. RAFAELI e MULLER (2007) não recomendam acumular 10 ou mais indicadores na composição de um único índice sem realizar ramificações parciais em diferentes níveis. Isso se deve a possibilidade de um indicador ter seu desempenho camuflado por outro em um índice composto por muito indicadores e assim um problema inicialmente trivial pode se agravar devido à falta de atenção com pequenas variações quando se tem um resultado consolidado.

Assim, para permitir uma análise diferenciada dos indicadores ambientais, foi proposta uma nova divisão em dois grupos: indicadores de qualidade ambiental e indicadores de desempenho ambiental, conforme apresentado na Figura 20.

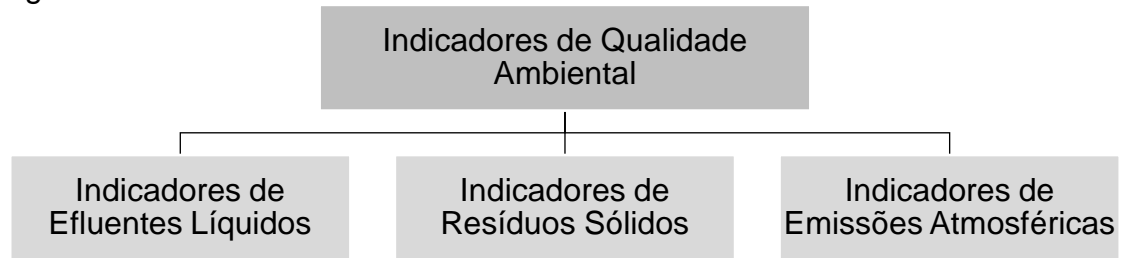
Figura 20 - Divisão Indicadores de Meio Ambiente



Fonte: A autora, 2017.

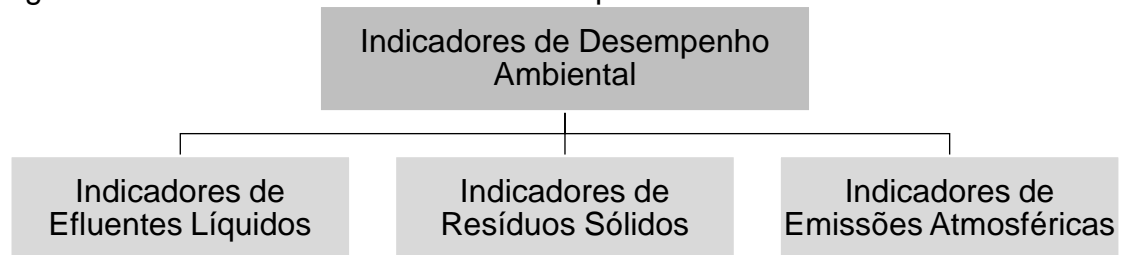
Tal separação foi motivada pela observação de que, apesar de todos os indicadores serem quantitativos, alguns tinham como objetivo informar sobre a qualidade do efluente, do resíduo ou da emissão, enquanto que outros tinham o propósito de informar apenas a quantidade de cada tipo de efluente, resíduo ou emissão. Por exemplo, no caso de efluentes líquidos, os indicadores de desempenho ambiental são efluente inorgânico, orgânico e esgoto sanitário, ou seja, os três tipos de efluentes possíveis de serem gerados na fábrica. Já os indicadores de qualidade ambiental são óleos e graxas, materiais sedimentáveis, DQO, DBO, RNFT, amônia, alumínio e cloro, expondo as características desse efluente. A mesma análise pode ser feita para resíduos sólidos e emissões atmosféricas. A estrutura dos indicadores é apresentada na Figura 21 e Figura 22.

Figura 21 - Divisão Indicadores de Qualidade Ambiental



Fonte: A autora, 2017.

Figura 22 - Divisão Indicadores de Desempenho Ambiental



Fonte: A autora, 2017.

Todos os indicadores ambientais são relativos à produção industrial realizada no respectivo período. Esta relatividade é necessária para que a variação dos indicadores ambientais seja analisada de forma independente, ou seja, sem o impacto de flutuações na produção. Sem essa análise relativizada, um aumento em um indicador poderia ser referente apenas a um aumento na produção. Por outro lado, uma diminuição em um indicador prejudicial, que poderia ser vista como uma melhoria de processo, poderia ter sido originada apenas por uma diminuição na produção.

Para manter a mesma frequência em todos os indicadores, foram adotados valores anuais no período de 2011 a 2015. Isto facilita a tomada de decisão gerencial e suporta o planejamento da empresa porque possibilita uma análise histórica. Assim, os dados são analisados ao longo do tempo, sendo possível verificar variações no seu comportamento de forma macro.

A Tabela 11 e a Tabela 12 apresentam os indicadores utilizados no estudo de caso separados por grupo, com suas respectivas fórmulas de cálculo e polaridade.

A polaridade do indicador mostra como seu resultado deve ser interpretado. Para indicadores com polaridade positiva, quanto maior for o seu valor, melhor será o resultado. Já para indicadores com polaridade negativa, quanto menor for o seu valor, melhor será o resultado.



Tabela 11 - Indicadores de Desempenho Ambiental

<b>Indicador de Desempenho Ambiental</b>		
<b>Indicadores de Efluentes Líquidos</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Fórmula de cálculo</b>	<b>Polaridade</b>
Inorgânico	volume de efluente inorgânico / massa de produto	-
Orgânico	volume de efluente orgânico / massa de produto X	-
Esgoto sanitário	volume de esgoto sanitário / massa de produto	-
<b>Indicadores de Resíduos Sólidos</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Fórmula de cálculo</b>	<b>Polaridade</b>
Industrial	massa de resíduo industrial / massa de produto	-
RSG	massa de RSG / massa de produto	-
Reciclado	massa de resíduo reciclado / massa de produto	+
<b>Indicadores de Emissões Atmosféricas</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Fórmula de cálculo</b>	<b>Polaridade</b>
Fonte estacionária	massa de emissão de fonte estacionária / massa de produto	-
Emissões fugitivas	massa de emissões fugitivas / massa de produto	-

Fonte: A autora, 2017.

O indicador Orgânico é calculado em relação ao produto X porque só há efluente líquido orgânico quando tal produto é fabricado. Apesar da empresa não ter fabricado esse produto específico em 2014 e 2015 é importante considerar o indicador porque havia grande carga orgânica no efluente.

O indicador Industrial corresponde ao resíduo sólido industrial que seguia para aterro e a lama que é destinada a uma empresa terceirizada para tratamento.

O indicador RSG representa o resíduo de serviço geral que compreende o resíduo orgânico do refeitório, o lixo comum e o entulho obra. Recentemente este indicador vem diminuindo porque tais resíduos estão sendo reciclados.

O indicador Reciclado compreende a reciclagem de diversos materiais como metal, ferro, papelão, plástico, madeira, vidro, resíduo orgânico de refeitório, entulho de obra, óleo vegetal e óleo mineral.

Com relação às emissões atmosféricas, é usual utilizar a ferramenta *Greenhouse Gas (GHG) Protocol* para realizar o inventário de emissões de países e empresas. A metodologia, desenvolvida pelo *World Resources Institute (WRI)*, é compatível com a ABNT NBR ISSO 14.064 e divide as emissões em três tipos. O escopo 1 refere-se às emissões diretas, incluindo fonte móvel e estacionária. O escopo 2 corresponde às emissões indiretas dos gases de efeito estufa (GEE), referente ao uso de energia elétrica e térmica. Sendo assim tal emissão não está sob o controle operacional da empresa já que ocorre aonde é gerada a energia elétrica, ou seja, fora do limite de bateria da fábrica. Já o escopo 3 corresponde a outras emissões indiretas ao longo da cadeia de valor, sendo mais difícil de ser quantificado. (GHG PROTOCOL BRASIL, 2017)

A empresa avaliada no estudo de caso realizou seu inventário de emissões de acordo com o *GHG Protocol*. Uma vez que, como premissa deste trabalho, foram adotados apenas indicadores que possam ser controlados pela operação da fábrica e ocorram dentro do limite de bateria, foram contabilizadas apenas as emissões de GEE realizadas nessas circunstâncias, ou seja, relacionados ao escopo 1 e a fontes estacionárias. As fontes móveis da companhia analisada correspondem a oito carros para funcionários, uma ambulância, uma pick-up e veículos alugados, que além de terem um valor desprezível emitem GEE fora do limite de bateria e por isso não serão considerados. Quanto ao escopo 2, as emissões da indústria estudada também são pequenas, representando menos de 10% do valor total do escopo 1 e 2. O escopo 3 não foi contabilizado no relatório de emissões da empresa.

Os indicadores Fonte estacionária e Emissões fugitivas são contabilizados em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente porque esta é a unidade padrão para emissões de GEE.

Tabela 12 - Indicadores de Qualidade Ambiental

<b>Indicador de Qualidade Ambiental</b>		
<b>Indicadores de Efluentes Líquidos</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Fórmula de cálculo</b>	<b>Polaridade</b>
Óleos e graxas	massa de óleos e graxas / massa de produto	-
Materiais sedimentáveis	volume de materiais sedimentáveis / massa de produto	-
DQO	massa de DQO / massa de produto	-

DBO	massa de DBO / massa de produto	-
RNFT	massa de RNFT / massa de produto	-
<b>Indicador</b>	<b>Fórmula de cálculo</b>	<b>Polaridade</b>
Amônia	massa de amônia / massa de produto	-
Alumínio	massa de alumínio / massa de produto	-
Cloro	massa de cloro / massa de produto	-
<b>Indicadores de Resíduos Sólidos</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Fórmula de cálculo</b>	<b>Polaridade</b>
Perigosos	massa de resíduos perigosos / massa de produto	-
Sucata ferrosa	massa de sucata ferrosa / massa de produto	+
Sucata plástica	massa de sucata plástica / massa de produto	+
Sucata de madeira	massa de sucata de madeira / massa de produto	+
Orgânico refeitório	massa de resíduo orgânico refeitório / massa de produto	+
Entulho de obra civil	massa de entulho de obra civil / massa de produto	+
<b>Indicadores de Emissões Atmosféricas</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Fórmula de cálculo</b>	<b>Polaridade</b>
Material particulado	massa de material particulado / massa de produto	-
SOx	massa de SOx / massa de produto	-
NOx	massa de NOx / massa de produto	-
Amônia	massa de amônia / massa de produto	-

Fonte: A autora, 2017.

Todos os indicadores de Qualidade Ambiental do grupo Efluentes Líquidos foram obtidos em análises laboratoriais após a estação de tratamento de resíduos industriais (ETRI) da companhia estudada.

O indicador DQO refere-se à soma da DQO do efluente inorgânico e a DQO do efluente orgânico quando é fabricado o produto X. Neste estudo de caso, por motivo de simplificação, será considerada a DQO como um todo porque a análise é quanto ao impacto ao meio ambiente.

O indicador RNFT refere-se ao resíduo não filtrado total, também conhecido como sólidos em suspensão total (SST).

O indicador Amônia considera a análise de  $\text{NH}_3$  em perdas atmosféricas, o indicador Alumínio considera a análise de Al e o indicador Cloro considera a análise de cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e cloro ativo ( $\text{Cl}_2$ ) no efluente líquido.

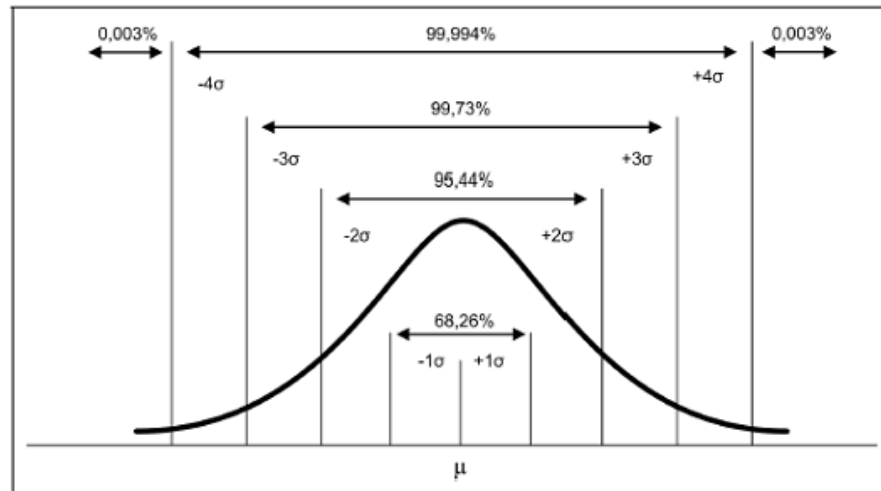
O indicador Perigosos refere-se a diferentes resíduos sólidos de pequena representatividade que foram agregados por questão de simplificação. Considera placas de amianto obsoletas que ainda existem na fábrica e ao quebrarem são descartadas, resíduos de serviço de saúde, óleo mineral usado, lâmpadas de mercúrio, entre outros.

Os indicadores Sucata ferrosa, Sucata plástica, Sucata de madeira, Resíduo orgânico refeitório e Entulho de obra civil são todos resíduos reciclados. O indicador Sucata plástica inclui plásticos em geral e sacos *big bag* de armazenamento de produto. O indicador Orgânico Refeitório é reciclado por uma empresa terceirizada e parte dele serve de adubo para uma horta na empresa.

A faixa adotada para cada indicador usou como base o conjunto de dados históricos de cinco anos de operação, os requisitos legais e, de acordo com a ABNT NBR ISO 14001, os objetivos e metas da empresa de acordo com sua política ambiental e planejamento estratégico. Assim, inicialmente o conjunto de dados históricos de cada indicador foi analisado estatisticamente para verificar se seguiam uma distribuição normal, conforme apresentado no apêndice D. Diante da normalidade dos dados, foi definido o limite de controle (LC) do indicador e verificou-se se este estava de acordo com a legislação e com os objetivos da gestão ambiental da companhia.

O limite superior de controle (LSC) corresponde à média dos dados acrescentada de três desvios padrão e o limite inferior de controle (LIC) representa a média dos dados subtraída de três desvios padrão. Essa faixa foi adotada para os indicadores porque em uma distribuição normal 99,73% dos dados encontram-se a uma distância da média inferior a três vezes o desvio padrão. Assim qualquer valor fora dessa faixa deve chamar a atenção de quem controla o processo. De forma gráfica, a distribuição normal e a região de LC considerada é apresentada na Figura 23.

Figura 23 - Distribuição normal



Fonte: PORTAL ACTION (2017)

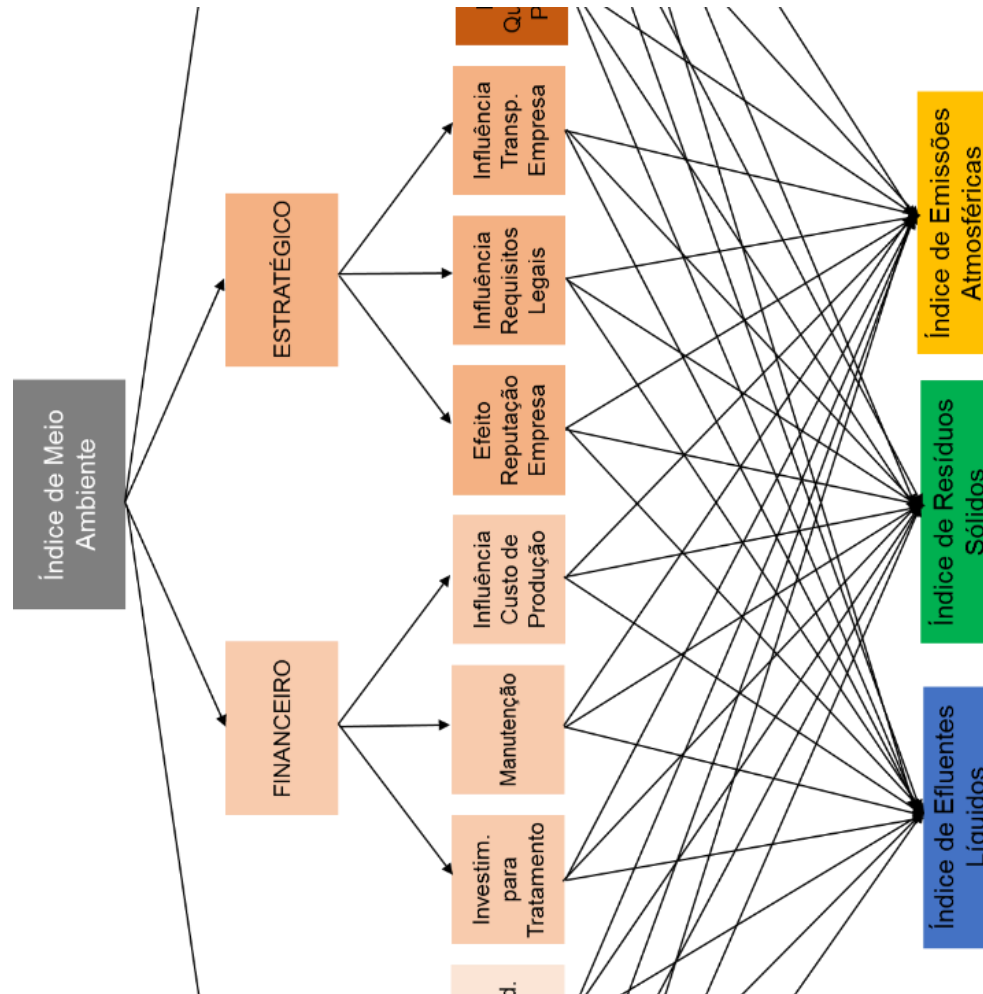
Em casos onde o LIC foi calculado como um valor negativo, algo impossível de ocorrer na prática dado a natureza dos dados, foi adotado o valor zero como LIC.

Conforme apresentado no apêndice D, alguns indicadores possuíam valores atípicos (*outliers*) que prejudicam a análise estatística dos dados e a definição do LC. Assim, nesses casos, tais valores foram retirados da análise para verificação da normalidade e cálculo da média e desvio padrão, de forma a estabelecer um LC adequado. De forma a não comprometer a análise do índice e ocultar variações em outros indicadores, os valores atípicos foram transformados em 100% ou 0% de acordo com cada caso.

## 2.6. Determinação da importância relativa dos critérios e subcritérios

A importância relativa dos critérios e subcritérios foi obtida com o uso da ferramenta AHP. A estrutura hierárquica utilizada é apresentada na Figura 24, com o objetivo a ser atingido na parte superior, seguido pelos quatro critérios, seus respectivos subcritérios e os índices que serão ranqueados na parte inferior.

Figura 24 - Estrutura Hierárquica AHP



Fonte: A autora, 2017.

As prioridades foram estabelecidas por meio de um questionário, balizado na metodologia da técnica AHP, apresentado no apêndice A, respondido pela equipe de Segurança e Meio Ambiente da companhia estudada. Após consolidadas as respostas individuais do grupo de tomadores de decisão, através da média geométrica, obteve-se a matriz de preferência global.

O apêndice B contém as matrizes de preferência com seus respectivos autovetores e taxas de consistência para enfim obter a prioridade global dos subcritérios e a prioridade final dos índices de acordo com a técnica. Todos os cálculos da metodologia da AHP foram realizados em planilha eletrônica de modo que a memória de cálculo pudesse ser fornecida à empresa avaliada no estudo de caso e fosse possível fazer alterações em caso de eventuais mudanças.

## **2.7. Avaliação dos indicadores em relação aos subcritérios**

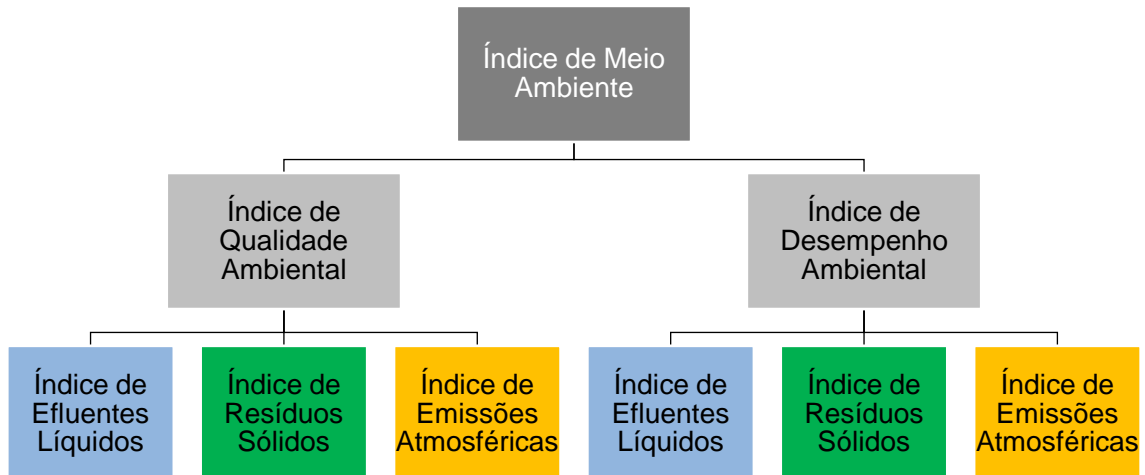
A avaliação dos indicadores em relação aos subcritérios foi realizada por meio da ferramenta MSP. Uma vez que os subcritérios já haviam sido priorizados na etapa anterior, com a técnica AHP, adotou-se os mesmos pesos nesta fase.

Assim os tomadores de decisão deveriam apenas avaliar os indicadores em relação a cada subcritério por meio do questionário apresentado no apêndice A, respondido pela equipe de Segurança e Meio Ambiente da empresa estudada. A avaliação de cada indicador varia de 1 a 10, sendo 1 adotado quando não há relevância entre o indicador e o subcritério e 10 quando há grande relevância. Nesse contexto, relevância pode ser entendida como impacto ou efeito. Assim, uma nota alta seria vista como uma avaliação ruim e uma nota baixa como uma boa avaliação.

As respostas individuais foram consolidadas através da média aritmética e posteriormente normalizadas, como apresentado no apêndice C. Todos os cálculos da metodologia MSP foram realizados em planilha eletrônica de modo que a memória de cálculo pudesse ser fornecida à empresa avaliada no estudo de caso e fosse possível realizar mudanças de acordo com a necessidade.

## **2.8. Determinação dos índices**

Figura 25 Estrutura Índice de Meio Ambiente



Fonte: A autora, 2017.

A Figura 25 apresenta a estrutura dos índices propostos na presente dissertação: um Índice de Meio Ambiente que se divide em Qualidade e Desempenho Ambiental, sendo cada um destes separados em Efluentes Líquidos, Resíduos Sólidos e Emissões Atmosféricas, cada um com seus respectivos indicadores.

Segundo RAFAELI e MULLER (2007), para a construção de um índice é importante eliminar a interferência das unidades de cada indicador. Assim pode-se utilizar os dados sem problemas referentes à incompatibilização de medidas, integrando indicadores em diferentes níveis hierárquicos para obtenção de um índice geral que possibilite a análise de todo o sistema.

Deste modo, para a obtenção dos índices de Efluentes Líquidos, Resíduos Sólidos e Emissões Atmosféricas, seus respectivos indicadores tiveram suas faixas de atuação ajustadas para um intervalo de 0 a 100 e conseqüentemente seus dados históricos também foram proporcionalmente transformados. Tal ação é necessária para manter os indicadores equivalentes, uma vez que suas faixas de atuação são muito díspares.

Estes índices são calculados a partir da soma dos produtos de cada indicador com sua respectiva priorização, calculada com a técnica MSP, conforme apresentado na Equação 5.

(5)

$$\text{Índice} = x_1 \times \text{Indicador}_1 + x_2 \times \text{Indicador}_2 + \dots + x_n \times \text{Indicador}_n$$

Onde:

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n = 1$$



Sendo:

$x_i$  = priorização do indicador obtida no MSP

A obtenção dos Índices de Qualidade e Desempenho Ambiental, apresentada na (6 Equação 6 e Equação 7, ocorre a partir da soma dos produtos entre os seus respectivos Índices de Efluentes Líquidos, Resíduos Sólidos e Emissões Atmosféricas com suas priorizações, adquiridas através da técnica AHP.

(6)

Índice de Qualidade Ambiental

$$= x \times \text{Índice de Efluentes Líquidos} + y \times \text{Índice de Resíduos Sólidos} + z \times \text{Índice de Emissões Atmosféricas}$$

(7)

Índice de Desempenho Ambiental

$$= x \times \text{Índice de Efluentes Líquidos}' + y \times \text{Índice de Resíduos Sólidos}' + z \times \text{Índice de Emissões Atmosféricas}'$$

Onde:

$$x + y + z = 1$$

Sendo:

- $x, y, z$ : priorização dos índices obtida na AHP
- Índice de Efluentes Líquidos, Índice de Resíduos Sólidos, Índice de Emissões Atmosféricas: formados pelos indicadores de Qualidade Ambiental
- Índice de Efluentes Líquidos', Índice de Resíduos Sólidos', Índice de Emissões Atmosféricas': formados pelos indicadores de Desempenho Ambiental

Já o Índice de Meio Ambiente é obtido através da soma ponderada dos Índices de Desempenho e Qualidade Ambiental, conforme apresentado na Equação 8. São adotados pesos iguais para os índices que o compõe uma vez que sua relevância é

a mesma e o objetivo da ponderação é obter um intervalo de 0 a 100 para o Índice de Meio Ambiente.

(8)

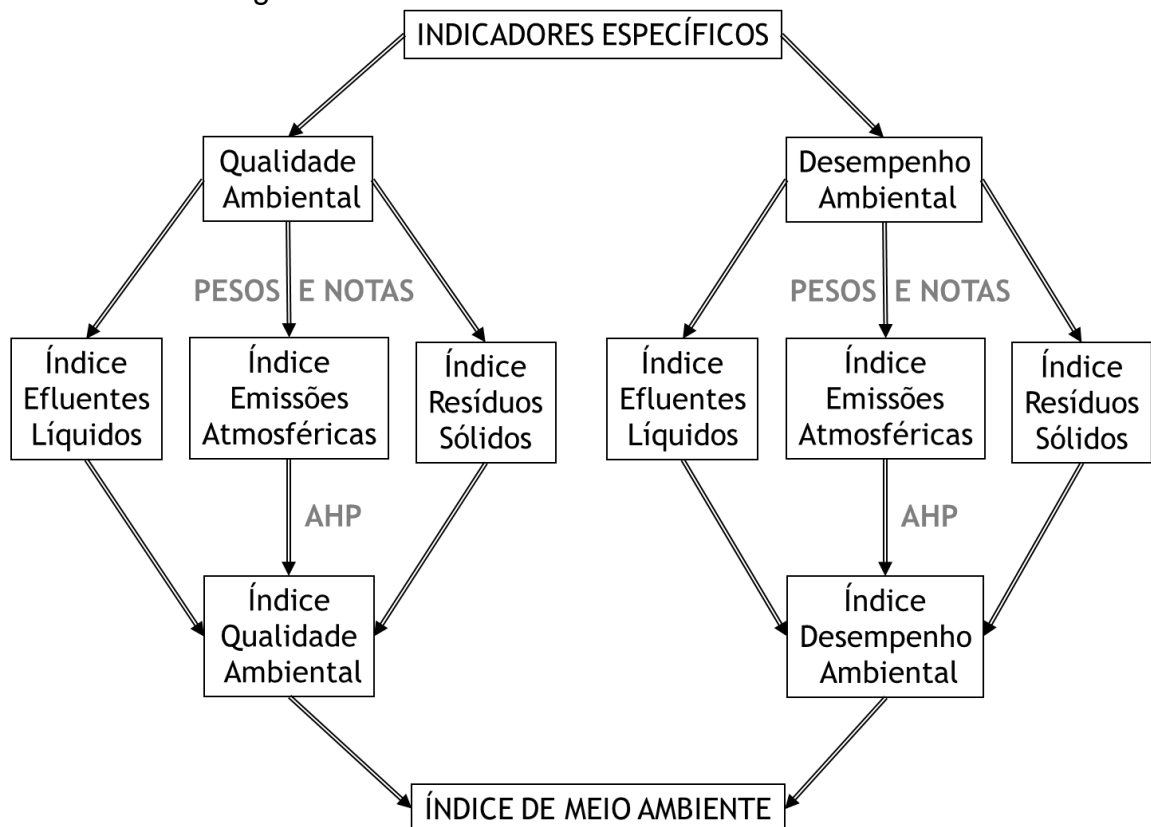
Índice de Meio Ambiente

$$= 0,5 \times \text{Índice de Desempenho Ambiental} + 0,5 \times \text{Índice de Qualidade Ambiental}$$

Todos os índices possuem polaridade negativa, ou seja, quanto menor for o seu valor, melhor será o resultado. Os dados referentes aos índices são expostos na discussão dos resultados.

De forma geral, pode-se resumir a metodologia adotada com a Figura 26.

Figura 26 - Metodologia



Fonte: A autora, 2017.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

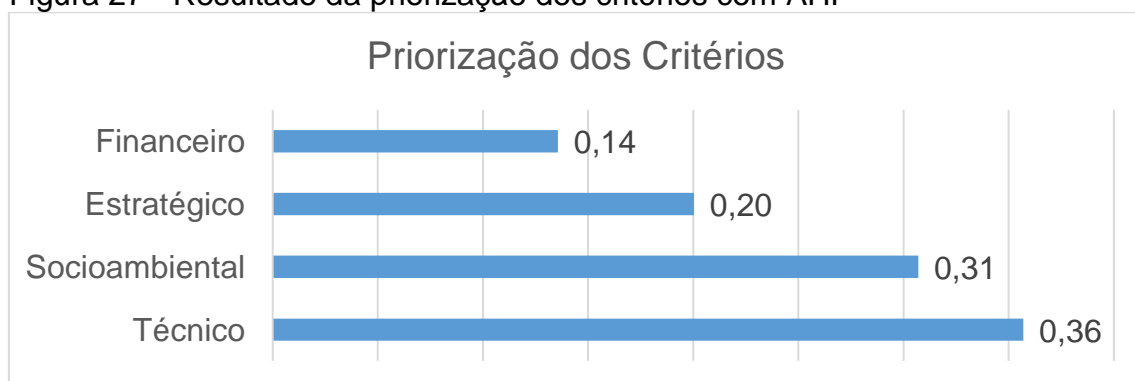
A análise dos resultados do estudo de caso será realizada em etapas, de acordo com a metodologia proposta na presente dissertação. Assim, inicia-se com os resultados obtidos por meio da priorização dos critérios e subcritérios com a técnica de tomada de decisão AHP, depois são avaliados os resultados da aplicação do MSP para avaliar os indicadores em relação aos subcritérios e, por fim, são analisados os resultados dos índices propostos, com os dados da empresa adotada no estudo de caso.

### 3.1. Priorização dos critérios e subcritérios – Técnica AHP

A participação dos tomadores de decisão teve início com a priorização dos critérios com a ferramenta AHP, por meio de uma comparação pareada entre eles (item 2.6). O foco da AHP é a obtenção de um índice de meio ambiente que utilize vários critérios na priorização de seus indicadores. Os seus resultados são apresentados no apêndice B e nas figuras a seguir.

O grupo de especialistas avaliou como mais importante os critérios Técnicos (36%), seguidos pelos critérios Socioambientais (31%), Estratégicos (20%) e Financeiros (14%). A Figura 27 apresenta os resultados da priorização dos critérios com a AHP.

Figura 27 - Resultado da priorização dos critérios com AHP



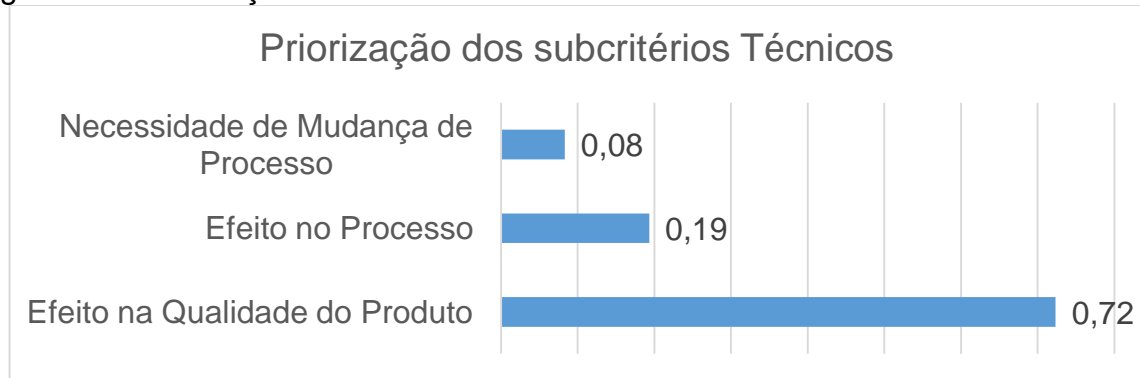
Fonte: A autora, 2017.

A importância dada aos critérios técnicos provavelmente é justificada por conta do estudo de caso ter sido realizado em uma indústria produtora de insumos para refino de petróleo, sendo maior preocupação a especificação do produto, requisito exigido pelo mercado consumidor. Os critérios Socioambientais também possuem

expressivo percentual na priorização, confirmando a crescente preocupação da indústria com a questão ambiental, abordada na revisão bibliográfica.

Em seguida foi realizada a priorização dos subcritérios com a técnica AHP, dentro de cada grupo avaliado anteriormente. A Figura 28 apresenta os resultados da priorização dos subcritérios Técnicos com a AHP.

Figura 28 - Priorização dos subcritérios Técnicos com AHP

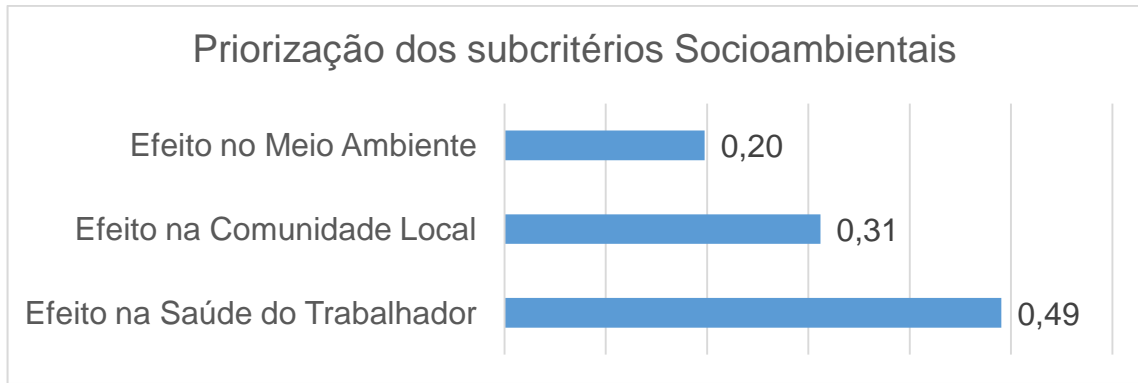


Fonte: A autora, 2017.

Entre os subcritérios técnicos, o Efeito na Qualidade do Produto obteve maior percentual na priorização (72%), enfatizando a preocupação com o atendimento às especificações técnicas do produto. O Efeito no Processo (19%) também foi considerado importante, uma vez que está diretamente relacionado à qualidade do produto. Já a Necessidade de Mudança no Processo (8%) obteve baixo grau de priorização, o que se mostra coerente com a alta relevância dos aspectos técnicos. Assim, mudanças necessárias no processo são realizadas devido a sua importância.

A priorização dos subcritérios Socioambientais com a AHP é apresentada na Figura 29.

Figura 29 - Priorização dos subcritérios Socioambientais com AHP

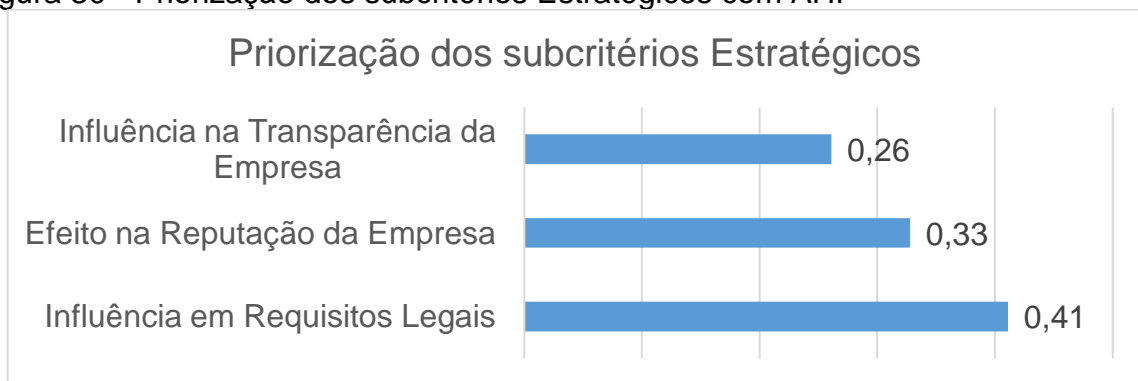


Fonte: A autora, 2017.

O Efeito na Saúde do Trabalhador (49%) obteve grande representatividade na priorização dos critérios Socioambientais pelo grupo de especialistas, possivelmente devido à preocupação da empresa estudada com seus funcionários. Depois, seguindo a mesma linha de preocupação com as pessoas, aparece o subcritério Efeito na Comunidade Local (31%) e por último o Efeito no Meio Ambiente (20%).

O resultado da priorização dos subcritérios estratégicos com a AHP é avaliado na Figura 30.

Figura 30 - Priorização dos subcritérios Estratégicos com AHP



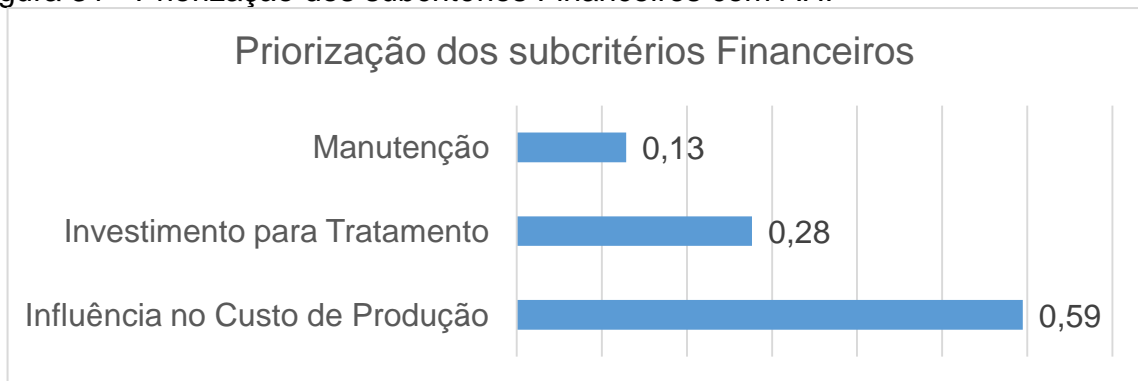
Fonte: A autora, 2017.

A priorização dos subcritérios Estratégicos foi a mais equilibrada entre os quatro grupos de critérios. A maior importância foi dada ao subcritério Influência em Requisitos Legais (41%) provavelmente por ser algo mandatário para a operação da fábrica. Depois aparece o subcritério Efeito na Reputação da Empresa (33%), algo de valor intangível e difícil recuperação que foi citado por executivos em pesquisa da CNI (2015) como a maior vantagem para o engajamento da empresa em práticas ambientalmente sustentáveis. Já o subcritério Influência na Transparência da

Empresa (26%), foco da última revisão da ABNT NBR ISO 14.001, obteve menor priorização entre os subcritérios estratégicos possivelmente porque a companhia avaliada já é bastante transparente quanto aos seus resultados e possui certificação dos Sistema de Gestão Ambiental, de Saúde e Segurança do Trabalho e da Qualidade.

A priorização dos subcritérios Financeiros com a AHP é apresentada na Figura 31.

Figura 31 - Priorização dos subcritérios Financeiros com AHP



Fonte: A autora, 2017.

A Influência no Custo de Produção (59%) foi apontado como o subcritério mais importante dentre os critérios Financeiros provavelmente porque interfere de forma contínua no orçamento da fábrica. Já os subcritérios Investimento para Tratamento (28%) e Manutenção (13%) obtiveram menor priorização possivelmente porque são custos pontuais, não interferindo tanto na tomada de decisão.

Após a priorização dos subcritérios em cada grupo, foram calculadas as prioridades globais obtidas com a AHP considerando a priorização individual do subcritério e a de seu respectivo grupo. Os resultados são apresentados na Figura 32 e os cálculos estão disponíveis no apêndice B – 3ª etapa.

Figura 32 - Prioridade Global dos Subcritérios com AHP



Fonte: A autora, 2017.

O subcritério com maior prioridade na tomada de decisão é o Efeito na Qualidade do Produto (26%), uma vez que é fundamental atender às especificações técnicas do produto. Destaca-se também o Efeito na Saúde do Trabalhador (15%) e na Comunidade Local (10%) como subcritérios relevantes para o grupo de especialistas.

No passo seguinte do uso da técnica AHP, o grupo de tomadores de decisão priorizou os Índices de Efluentes Líquidos, Resíduos Sólidos e Emissões Atmosféricas dois a dois diante de cada subcritério, com foco na obtenção do Índice de Meio Ambiente. Os resultados são apresentados na Tabela 13 e os cálculos estão disponíveis no apêndice B – 4ª etapa.

Tabela 13 - Avaliação dos Índices em cada subcritério

Subcritérios	Índice		
	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas
Efeito na Saúde do Trabalhador	0,10	0,11	0,79
Efeito no Meio Ambiente	0,48	0,09	0,42
Efeito na Comunidade Local	0,21	0,13	0,66
Investimento para Tratamento	0,28	0,07	0,64
Manutenção	0,36	0,08	0,56
Influência no Custo de Produção	0,40	0,40	0,20
Efeito na Reputação da Empresa	0,25	0,25	0,50
Influência em Requisitos Legais	0,33	0,33	0,33
Influência na Transparência da Empresa	0,33	0,26	0,41
Efeito na Qualidade do Produto	0,40	0,40	0,20
Necessidade de Mudança de Processo	0,40	0,40	0,20
Efeito no Processo	0,40	0,40	0,20

Fonte: A autora, 2017.

Verifica-se que o Índice de Emissões Atmosféricas apresenta maior relevância que os demais em uma quantidade superior de subcritérios. As emissões atmosféricas representam uma preocupação maior para o grupo de especialistas com relação ao efeito na saúde do trabalhador (79%), na comunidade local(66%), em investimentos para tratamento (64%) e manutenção(56%) além da reputação da empresa(50%).

A importância considerável atribuída às Emissões Atmosféricas com relação à saúde do trabalhador (79%)possivelmente se deve ao mecanismo fisiológico de exposição. Os trabalhadores são expostos ao longo das 9 horas de trabalho ao ar com qualidade alterada devido a operação da fábrica. Já os Efluentes Líquidos e os Resíduos Sólidos praticamente não entram em contato com os trabalhadores.

A priorização das Emissões Atmosféricas com relação à comunidade local (66%) segue o mesmo conceito de exposição comentado no efeito na saúde do trabalhador. Além disso, a poluição visual com a emissão de vapor d'água pode possivelmente gerar uma tendência na comunidade local em achar que a fábrica não cumpre com suas obrigações legais e causa danos a população.

Quanto à elevada priorização do Índice de Emissões Atmosféricas com relação ao investimento para tratamento (64%) e manutenção (56%), isso provavelmente se justifica pela intensa rotina operacional e de manutenção da empresa para manter os sistemas de controle de emissão em 11 chaminés. Por envolver maior trabalho,



os especialistas atribuíram maior relevância às emissões, mesmo que o custo de tratamento dos efluentes líquidos seja mais significativo para a companhia. Como o tratamento de efluentes possui controles automáticos, os especialistas sofreram um viés cognitivo na tomada de decisão, ou seja, fizeram uma interpretação da situação de forma irracional ou ilógica levando à distorção do seu julgamento.

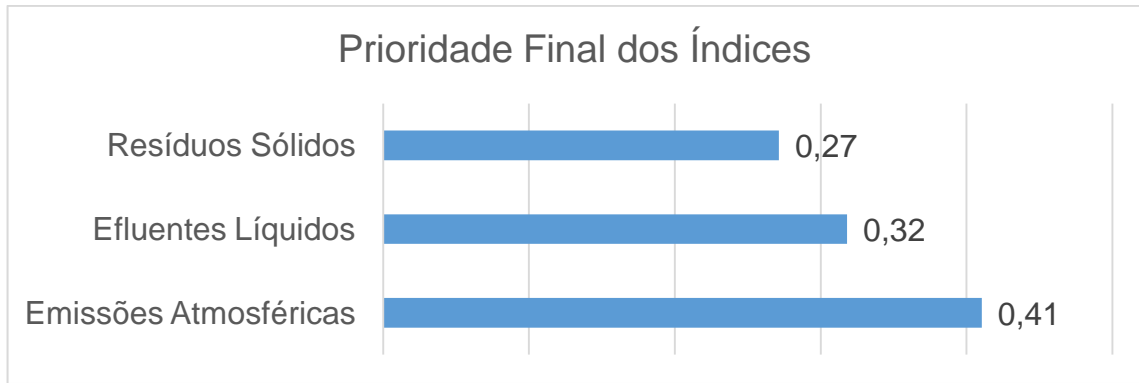
Com relação a reputação da empresa ser mais influenciada pelas Emissões Atmosféricas (50%), isso ocorre provavelmente por este ser um impacto visual mais evidente, de maior propagação e também sentido pelo odor.

Observa-se a pequena relevância do Índice de Resíduos Sólidos com relação aos efeitos no meio ambiente (9%) e no investimento para tratamento (7%) e manutenção (8%). Quanto ao efeito no meio ambiente, os Resíduos Sólidos possuem pequena relevância (9%) provavelmente porque o que não é reciclado é enviado para aterro sanitário controlado, não tendo assim mobilidade ambiental. Já os Efluentes Líquidos chegam a baía onde a fábrica está localizada e entram na cadeia biológica marinha. Por sua vez, a dispersão atmosférica das chaminés é muito mais significativa em extensão no ambiente.

Com relação aos três subcritérios técnicos, Efeito na Qualidade do Produto, Necessidade de Mudança de Processo e Efeito no Processo, possuem baixa priorização (20%) em relação ao Índice de Emissões Atmosféricas, provavelmente porque este não é reciclado para o processo como é feito com os Efluentes Líquidos e os Resíduos Sólidos. Assim não há risco de haver influência das Emissões Atmosféricas no processo ou no produto.

A influência em requisitos legais apresenta mesma priorização (33%) para os três índices, uma vez que todas as obrigações legais devem ser cumpridas para o funcionamento da fábrica.

No último passo da AHP, foi definida a prioridade final dos índices, considerando a priorização de cada subcritério e a avaliação dos índices com relação a eles. Os resultados são expostos na Figura 33.



Fonte: A autora, 2017.

Com estes resultados pode-se rever a Equação 6 e a Equação 7, apresentadas na metodologia (item 2.8), adotando a priorização dos tomadores de decisão. Assim, temos respectivamente as equações 9 e 10:

(9)

Índice de Qualidade Ambiental

$$= 0,32 \times \text{Índice de Efluentes Líquidos} + 0,27 \times \text{Índice de Resíduos Sólidos} + 0,41 \times \text{Índice de Emissões Atmosféricas}$$

(10)

Índice de Desempenho Ambiental

$$= 0,32 \times \text{Índice de Efluentes Líquidos}' + 0,27 \times \text{Índice de Resíduos Sólidos}' + 0,41 \times \text{Índice de Emissões Atmosféricas}'$$

Onde:

- Índice de Efluentes Líquidos, Índice de Resíduos Sólidos, Índice de Emissões Atmosféricas: formados pelos indicadores de Qualidade Ambiental
- Índice de Efluentes Líquidos', Índice de Resíduos Sólidos', Índice de Emissões Atmosféricas': formados pelos indicadores de Desempenho Ambiental

O índice de maior relevância é o de Emissões Atmosféricas (41%), coerente com a realidade da empresa avaliada no estudo de caso que fabrica produtos na fase sólida, o que implica em problemas com finos emitidos durante a produção. Seu Plano de Monitoramento de Emissões Atmosféricas em Fontes Fixas possui onze

pontos de medição para controle, o que requer maior atenção da rotina operacional e da manutenção para obter bons resultados ambientais e se manter dentro das restrições legais.

Atualmente as duas unidades de tratamento de Efluentes Líquidos e o sistema de filtro prensa para segregação de Resíduo Sólido garantem o atendimento legal sem falhas, provavelmente por isso tais índices receberam menor priorização.

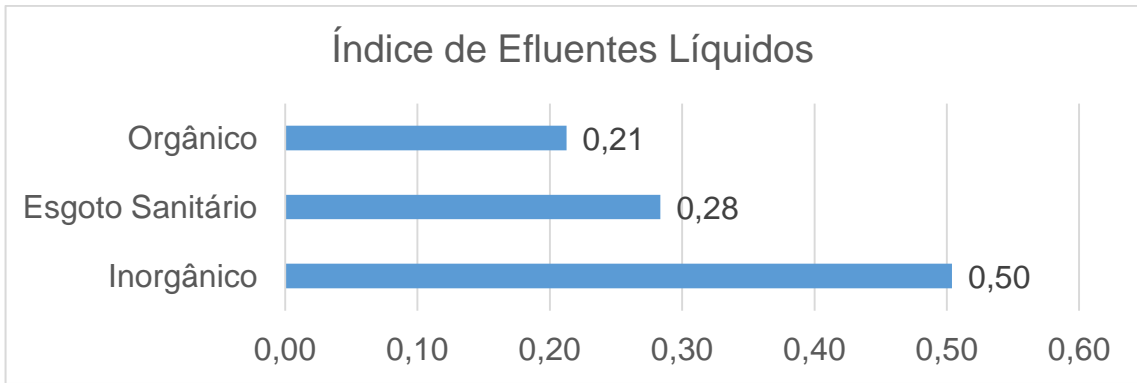
Nos últimos anos, a estratégia ambiental da empresa foi direcionada para os Resíduos Sólidos, que possuem tratamento mais barato e hoje já alcançaram um patamar de 80% dos RSG reciclados, o que possivelmente justifica sua priorização ser a menor entre os três índices avaliados (27%).

### **3.2. Priorização dos indicadores – Técnica MSP**

A segunda etapa do estudo de caso (item 2.7) foi realizada com a ferramenta MSP para avaliar os indicadores específicos em relação a cada subcritério. Em seguida, os julgamentos foram normalizados e consolidados em cada índice, conforme apresentado no apêndice C e nas figuras a seguir.

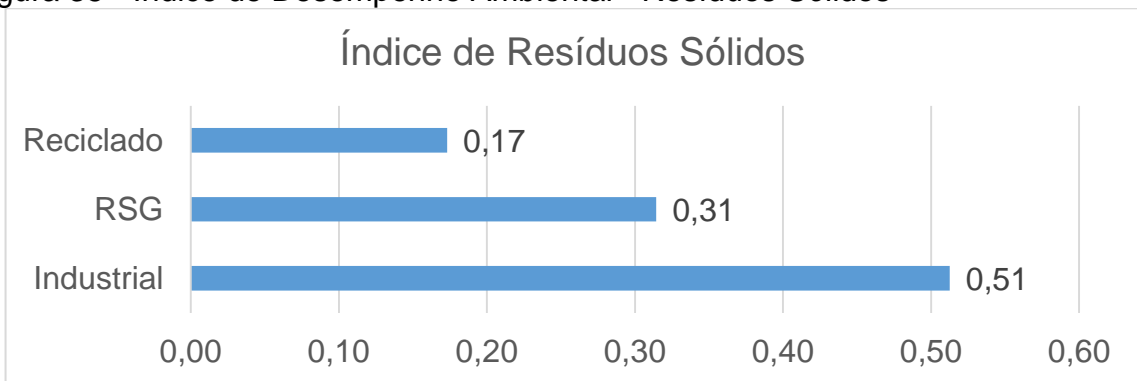
Com isso foi possível obter uma equação para cada índice, onde os resultados da priorização dos indicadores são os fatores associados aos respectivos valores normalizados (0 a 100%) do indicador na operação da fábrica.

Inicialmente serão apresentados os resultados da priorização dos indicadores no Índice de Desempenho Ambiental. A Figura 34 apresenta o Índice de Efluentes Líquidos, a Figura 35 contém os resultados do Índice de Resíduos Sólidos e a Figura 36 exibe os resultados do Índice de Emissões Atmosféricas.



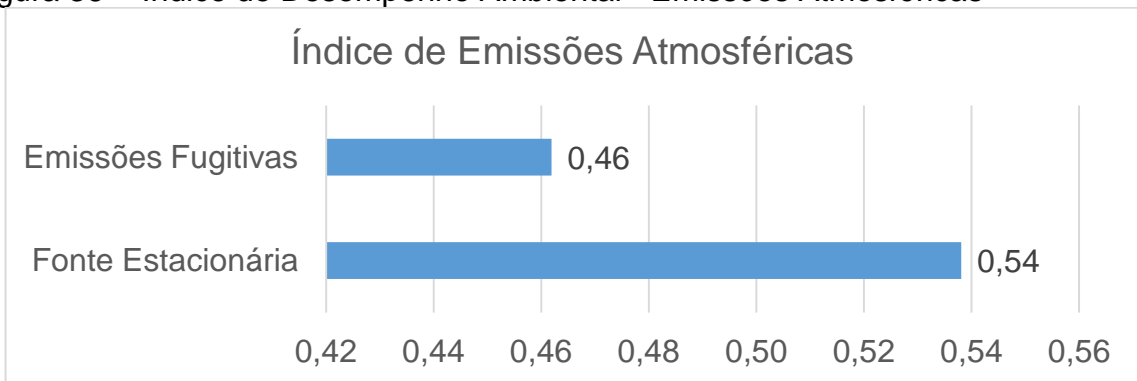
Fonte: A autora, 2017.

Figura 35 - Índice de Desempenho Ambiental - Resíduos Sólidos



Fonte: A autora, 2017.

Figura 36 - Índice de Desempenho Ambiental - Emissões Atmosféricas



Fonte: A autora, 2017.

Adotando os resultados da priorização destes indicadores na Equação 5, obtém-se as seguintes equações:

Índice Desempenho Ambiental Efluentes Líquidos

$$= 0,21 \times \text{Orgânico} + 0,28 \times \text{Esgoto Sanitário} + 0,50 \times \text{Inorgânico}$$

(11)

(12)

Índice Desempenho Ambiental Resíduos Sólidos

$$= 0,17 \times \text{Reciclado} + 0,31 \times \text{RSG} + 0,51 \times \text{Industrial}$$

(13)

Índice Desempenho Ambiental Emissões Atmosféricas

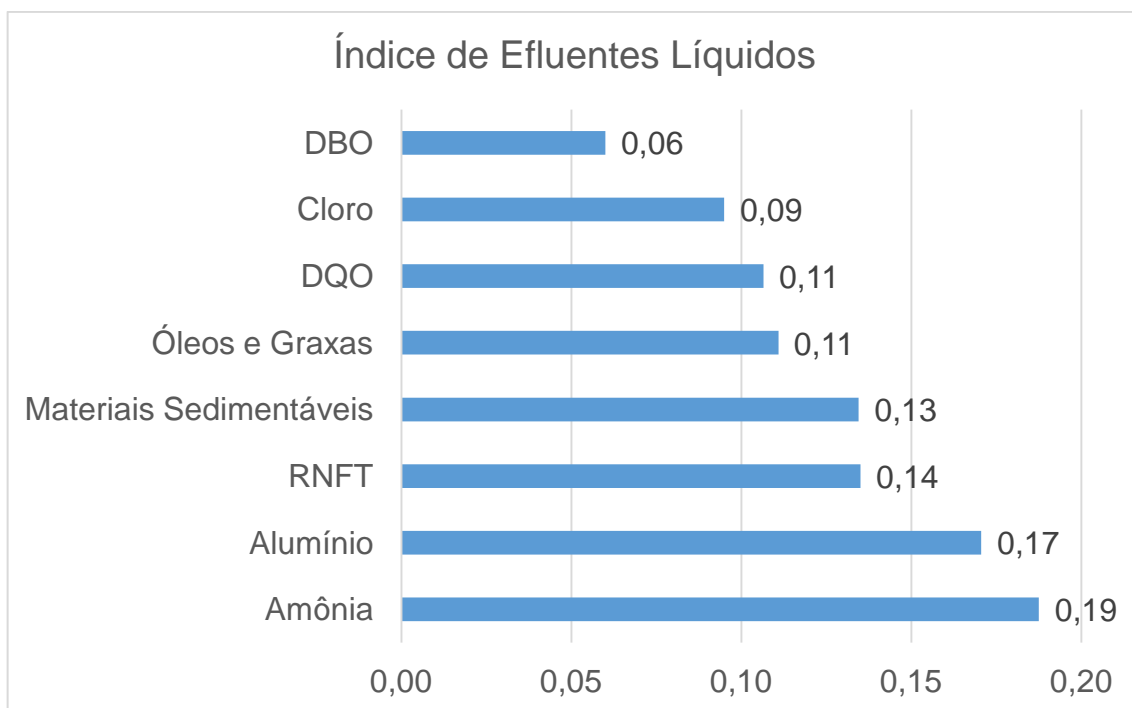
$$= 0,46 \times \text{Emissões Fugitivas} + 0,54 \times \text{Fonte Estacionária}$$

No caso dos Efluentes Líquidos, observa-se que o indicador de efluente Inorgânico (50%) possui maior relevância que os demais. Isso ocorre provavelmente porque o processo da empresa analisada ser inorgânico, possuindo assim maior quantidade de compostos deste tipo. O índice é composto também pelo indicador de Esgoto Sanitário (28%) e de efluente Orgânico (21%).

Nos resultados do Índice de Resíduos Sólidos destaca-se a importância do indicador de resíduo Industrial (51%) possivelmente porque ele expõe a eficiência do processo, uma vez que representa a perda de matéria prima ao longo do mesmo. Os indicadores de RSG (31%) e de resíduos Reciclados (17%) também compõem o índice.

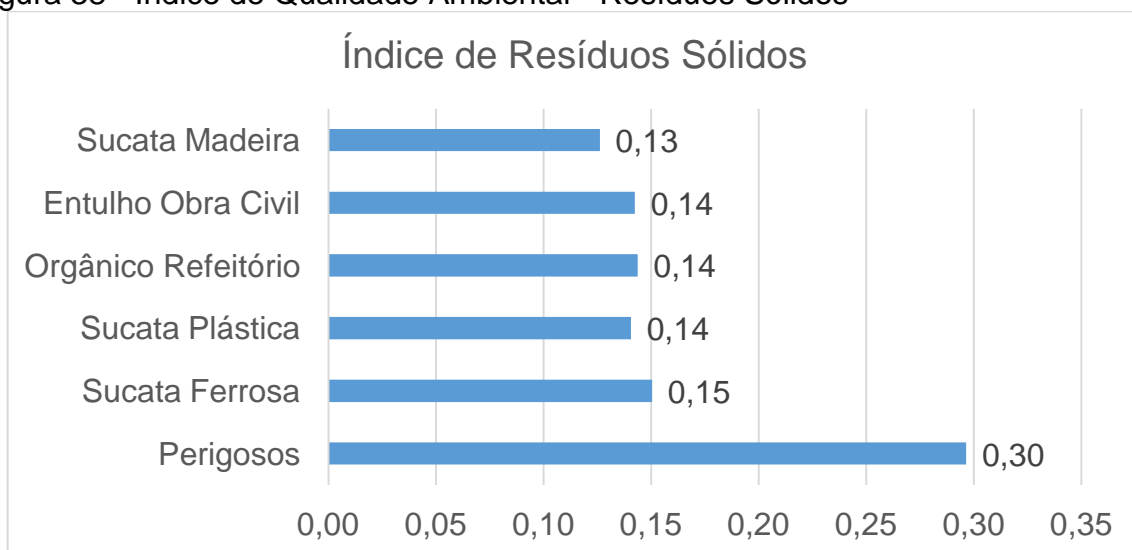
No Índice de Emissões Atmosféricas as emissões estacionárias (54%) possuem maior relevância provavelmente devido a maior representatividade nas emissões produzidas pela fábrica. As emissões fugitivas (46%) também apresentam importância significativa para o grupo de especialistas.

A seguir serão apresentados os resultados da priorização dos indicadores no Índice de Qualidade Ambiental. A Figura 37 apresenta o Índice de Efluentes Líquidos, a Figura 38 mostra os resultados do Índice de Resíduos Sólidos e a Figura 39 exhibe os resultados do Índice de Emissões Atmosféricas.



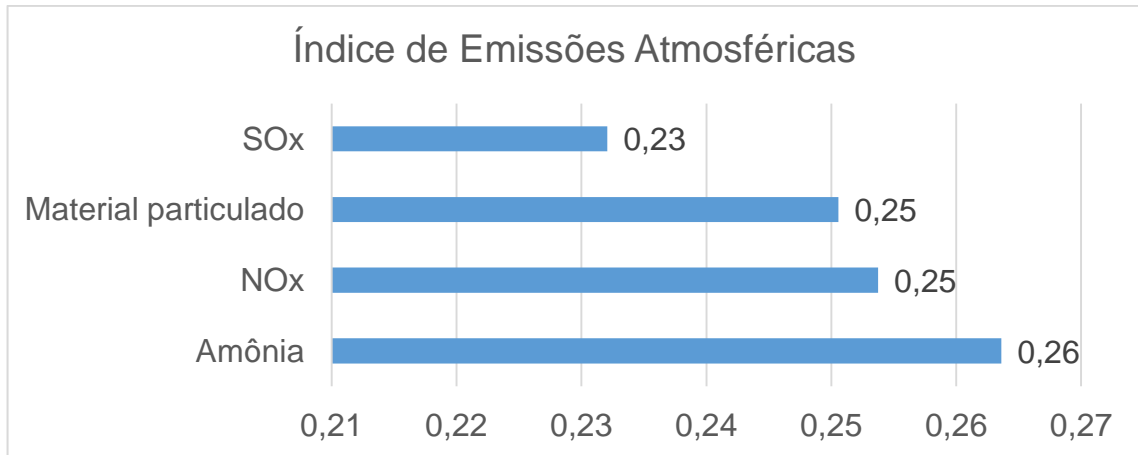
Fonte: A autora, 2017.

Figura 38 - Índice de Qualidade Ambiental - Resíduos Sólidos



Fonte: A autora, 2017.

Figura 39 - Índice de Qualidade Ambiental - Emissões Atmosféricas



Fonte: A autora, 2017.

A priorização destes indicadores aplicada na Equação 5, forma as equações a seguir:

(14)

Índice Qualidade Ambiental Efluentes Líquidos

$$= 0,06 \times \text{DBO} + 0,09 \times \text{Cloro} + 0,11 \times \text{DQO} + 0,11 \times \text{Óleos e Graxas} \\ + 0,13 \times \text{Materiais Sedimentáveis} + 0,14 \times \text{RNFT} + 0,17 \times \text{Alumínio} \\ + 0,19 \times \text{Amônia}$$

(15)

Índice Qualidade Ambiental Resíduos Sólidos

$$= 0,30 \times \text{Perigosos} - (0,13 \times \text{Sucata Madeira} + 0,14 \\ \times \text{Entulho Obra Civil} + 0,14 \times \text{Orgânico Refeitório} + 0,14 \\ \times \text{Sucata Plástica} + 0,15 \times \text{Sucata Ferrrosa})$$

(16)

Índice Qualidade Ambiental Emissões Atmosféricas

$$= 0,23 \times \text{SOx} + 0,25 \times \text{Material Particulado} + 0,25 \times \text{NOx} + 0,26 \\ \times \text{Amônia}$$

O Índice de Efluentes Líquidos de Qualidade Ambiental possui muitos indicadores com priorização semelhante. Destacam-se os indicadores de Amônia (19%) e Alumínio (17%) que possuem maior priorização provavelmente porque o processo inorgânico da companhia avaliada possui teores e cargas significativas dos

mesmos. Já o indicador de DBO recebeu menor priorização (6%) possivelmente porque os efluentes possuem teores e carga muito baixos, não sendo viável tecnicamente realizar o tratamento biológico.

No Índice de Resíduos Sólidos acentua-se a relevância do indicador Perigosos (30%) uma vez que todos os outros são reciclados. A fábrica consegue atingir 80% de reciclagem de RSG o que mostra seu empenho na questão ambiental.

O sinal negativo aplicado antes dos indicadores de reciclagem na Equação 15 se deve a polaridade positiva dos mesmos (quanto maior melhor) enquanto o Índice de Resíduos Sólidos possui polaridade negativa (quanto menor melhor). Assim é preciso atribuir o sinal negativo antes dos indicadores para adequar os resultados.

O Índice de Emissões atmosféricas apresenta resultados semelhantes na priorização de seus indicadores uma vez que todos receberam notas altas no julgamento dos tomadores de decisão. Tal resultado reafirma a importância das emissões atmosféricas conforme visto anteriormente na priorização dos três grupos de indicadores com a AHP.

### 3.3. Determinação dos índices

A terceira etapa do estudo de caso (item 2.8) refere-se ao cálculo dos índices. Definida a priorização dos indicadores, é preciso definir a faixa de trabalho de cada indicador em um intervalo de 0 a 100 para manter os indicadores equivalentes, conforme explicado no item 2.5. A Tabela 14 e a Tabela 15 apresentam a unidade e o intervalo considerado para cada indicador.

Tabela 14 - Indicadores de Desempenho Ambiental - Unidade e faixa de trabalho

<b>Indicador de Desempenho Ambiental</b>		
<b>Indicadores de Efluentes Líquidos</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Unidade</b>	<b>Faixa</b>
Inorgânico	m <sup>3</sup> /ton	18,74 - 30,00
Orgânico	m <sup>3</sup> /ton X	0,00 - 14,02
Esgoto sanitário	m <sup>3</sup> /ton	0,29 - 0,67



<b>Indicadores de Resíduos Sólidos</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Unidade</b>	<b>Faixa</b>
Industrial	kg/ton	69,45 - 140,20
RSG	kg/ton	0,00 - 11,28
Reciclado	kg/ton	8,65 - 22,59
<b>Indicadores de Emissões Atmosféricas</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Unidade</b>	<b>Faixa</b>
Fonte estacionária	tCO <sub>2eq</sub> /ton	1,51 - 1,78
Emissões fugitivas	tCO <sub>2eq</sub> /ton	0,00 - 0,05

Fonte: A autora, 2017.

Tabela 15 - Indicadores de Qualidade Ambiental - Unidade e faixa de trabalho

<b>Indicador de Qualidade Ambiental</b>		
<b>Indicadores de Efluentes Líquidos</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Unidade</b>	<b>Faixa</b>
Óleos e graxas	kg/ton	0,00 - 0,13
Materiais sedimentáveis	L/ton	0,17 - 1,96
DQO	kg/ton	0,00 - 869,06
DBO	kg/ton	0,00 - 0,37
RNFT	kg/ton	4,38 - 13,70
Amônia	kg/ton	0,03 - 0,08
Alumínio	kg/ton	0,018 - 0,031
Cloro	kg/ton	34,97 - 217,03
<b>Indicadores de Resíduos Sólidos</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Unidade</b>	<b>Faixa</b>
Perigosos	kg/ton	0,00 - 4,86
Sucata ferrosa	kg/ton	2,38 - 3,82
Sucata plástica	kg/ton	2,37 - 4,08

Sucata de madeira	kg/ton	0,25 - 2,86
Orgânico refeitório	kg/ton	2,20 - 2,52
Entulho de obra civil	kg/ton	0,00 - 8,85
<b>Indicadores de Emissões Atmosféricas</b>		
<b>Indicador</b>	<b>Unidade</b>	<b>Faixa</b>
Material particulado	kg/ton	0,39 - 1,36
SOx	kg/ton	0,00 - 1,00
NOx	kg/ton	0,00 - 6,90
Amônia	kg/ton	1,97 - 13,50

Fonte: A autora, 2017.

Os valores normalizados dos indicadores que compõem o Índice de Desempenho Ambiental são apresentados na

Tabela 16, junto aos seus respectivos Índices de Efluentes Líquidos, Resíduos Sólidos e Emissões Atmosféricas, no período de 2011 a 2015. Apesar dos indicadores terem sido balizados pela produção anual, percebe-se variações ao longo do tempo.

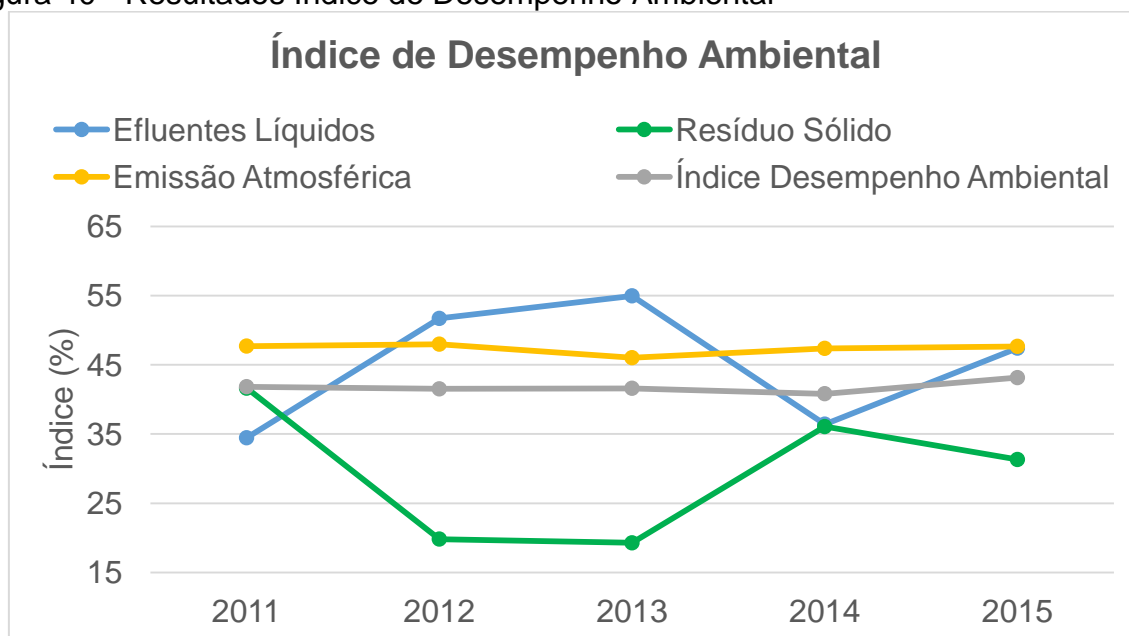
Tabela 16 - Resultados Indicadores de Desempenho Ambiental

	<b>Indicadores Normalizados (%)</b>				
	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
Inorgânico	30,30	51,83	47,14	44,60	76,12
Orgânico	37,01	49,49	45,56	0,00	0,00
Esgoto sanitário	39,91	53,12	75,90	49,19	31,88
<b>Índice de Efluentes Líquidos</b>	<b>34,45</b>	<b>51,70</b>	<b>54,96</b>	<b>36,42</b>	<b>47,40</b>
Industrial	53,61	36,92	28,74	66,49	64,24
RSG	68,55	37,42	50,87	20,08	24,10
Reciclado	42,85	62,84	66,18	25,02	53,11
<b>Índice de Resíduos Sólidos</b>	<b>41,61</b>	<b>19,81</b>	<b>19,27</b>	<b>36,06</b>	<b>31,31</b>
Fonte Estacionária	67,96	68,46	39,76	36,66	37,16
Emissões Fugitivas	24,11	24,12	53,31	59,85	59,90
<b>Índice de Emissões Atmosféricas</b>	<b>47,70</b>	<b>47,98</b>	<b>46,02</b>	<b>47,37</b>	<b>47,66</b>
<b>Índice Desempenho Ambiental</b>	<b>41,84</b>	<b>41,52</b>	<b>41,60</b>	<b>40,82</b>	<b>43,14</b>

Fonte: A autora, 2017.

Os resultados dos Índices de Efluentes Líquidos, Resíduos Sólidos e Emissões Atmosféricas e a sua consolidação no Índice de Desempenho Ambiental são apresentados na Figura 40 para o mesmo período.

Figura 40 - Resultados Índice de Desempenho Ambiental



Fonte: A autora, 2017.

A variação do Índice de Desempenho Ambiental é muito pequena durante o período analisado, inferior a 5%, apesar dos indicadores que o compõem terem tido variações expressivas. Isso ocorre porque no período de 2012 a 2015 os resultados dos Índices de Efluentes Líquidos e Resíduos Sólidos foram complementares, ou seja, quando um dos índices aumentava, o outro diminuía, minimizando variações no Índice de Desempenho Ambiental.

O mesmo ocorreu no Índice de Emissões Atmosféricas que se manteve aproximadamente constante, com variação máxima de 4%, enquanto seus indicadores tiveram variações expressivas de até 72% no indicador Fonte Estacionária e 55% no indicador Emissões Fugitivas. Tal variação ocorreu no mesmo ano, enquanto um indicador aumentou, o outro diminuiu, e por terem prioridades semelhantes, o Índice de Emissões Atmosféricas não teve seu resultado impactado.

Os indicadores que integram o Índice de Qualidade Ambiental são expostos normalizados na Tabela 17, com seus respectivos Índices de Efluentes Líquidos, Resíduos Sólidos e Emissões Atmosféricas, no período de 2011 a 2015.

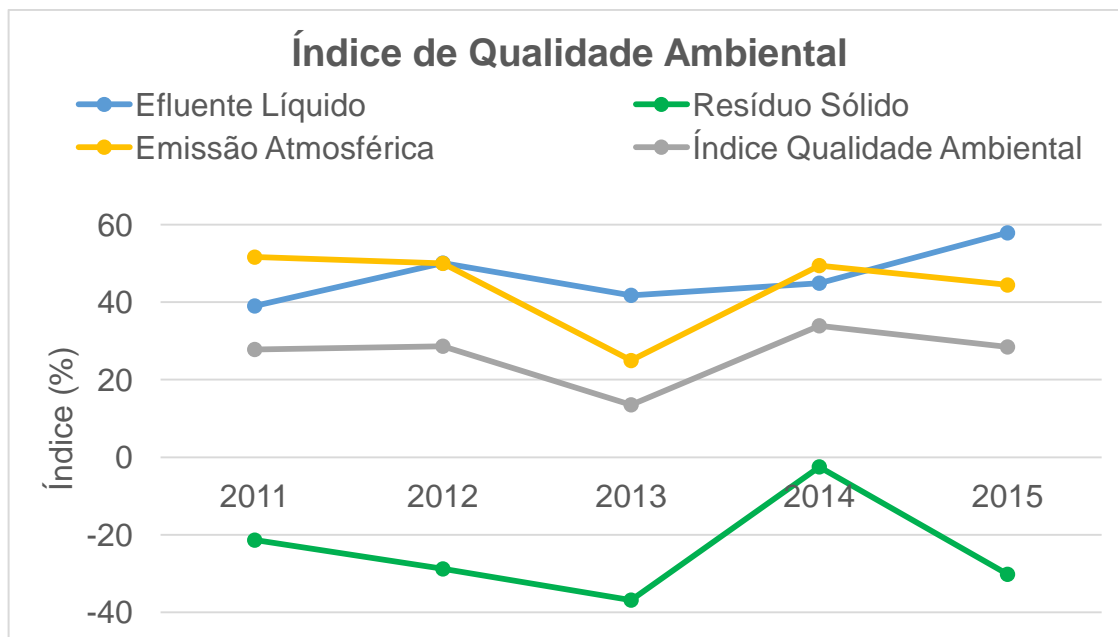
Tabela 17 - Resultados Indicadores de Qualidade Ambiental

	<b>Indicadores Normalizados (%)</b>				
	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
Óleos e Graxas	28,12	62,51	11,01	7,51	44,45
Materiais sedimentáveis	62,86	46,18	28,40	42,38	70,17
DQO	28,78	61,96	26,19	0,15	0,15
DBO	52,17	37,37	77,14	47,62	35,70
RNFT	41,63	71,94	61,26	45,48	29,69
Amônia	37,71	35,46	40,66	66,20	69,98
Alumínio	28,13	47,09	57,94	66,84	100,00
Cloro	39,75	38,97	37,31	58,43	75,54
<b>Índice de Efluentes Líquidos</b>	<b>39,03</b>	<b>50,08</b>	<b>41,78</b>	<b>44,91</b>	<b>57,89</b>
Perigosos	30,48	21,14	11,91	70,46	30,52
Sucata Ferrosa (reciclado)	46,95	29,64	50,73	46,69	75,99
Sucata Plástica (reciclado)	52,30	72,36	54,07	26,24	45,04
Sucata de Madeira (reciclado)	74,60	31,87	50,92	37,68	54,93
Orgânico Refeitório (reciclado)	0,00	67,33	57,19	28,23	47,25
Entulho de Obra Civil (reciclado)	46,12	47,19	73,55	26,89	54,27
<b>Índice de Resíduos Sólidos</b>	<b>-21,37</b>	<b>-28,79</b>	<b>-36,83</b>	<b>-2,47</b>	<b>-30,18</b>
Material Particulado	51,80	55,78	42,53	72,51	27,38
SOx	63,18	41,31	8,55	19,66	44,29
NOx	22,21	40,78	18,74	65,69	52,93
Amônia	69,58	61,08	28,64	38,08	52,61
<b>Índice de Emissões Atmosféricas</b>	<b>51,62</b>	<b>50,02</b>	<b>24,95</b>	<b>49,44</b>	<b>44,44</b>
<b>Índice Qualidade Ambiental</b>	<b>27,81</b>	<b>28,65</b>	<b>13,54</b>	<b>33,91</b>	<b>28,47</b>

Fonte: A autora, 2017.

Os resultados dos Índices de Efluentes Líquidos, Resíduos Sólidos e Emissões Atmosféricas e a sua consolidação no Índice de Qualidade Ambiental são exibidos na Figura 41 para o mesmo período.

Figura 41 - Resultados Índice de Qualidade Ambiental



Fonte: A autora, 2017.

O Índice de Resíduos Sólidos apresenta valores negativos porque cinco dos seis indicadores que o compõe se referem a resíduos reciclados e por isso possuem polaridade positiva ao invés de negativa. Com isso, é aplicado o sinal negativo antes deles para adequar os resultados, conforme foi apresentado na Equação 15, resultando em um Índice de Resíduos Sólidos com valores negativos.

O Índice de Qualidade Ambiental obteve valores menores do que o Índice de Desempenho Ambiental devido ao Índice de Resíduos Sólidos, que pela iniciativa de reciclagem diminuiu seu impacto. Os outros índices, de Efluentes Líquidos e Emissões Atmosféricas, tiveram resultados semelhantes nos Índices de Qualidade Ambiental e Desempenho Ambiental.

O Índice de Qualidade Ambiental se mostrou mais sensível às variações nos resultados dos indicadores que o compõe, apresentando variação de até 112%. Seu índice mais estável é o de Efluentes Líquidos, com variação máxima de 20%.

No ano de 2014 o Índice de Resíduos Sólidos apresentou um resultado diferente da tendência de melhoria, referente a iniciativa de reciclagem, porque seu indicador de resíduos Perigosos teve expressivo crescimento. Isso ocorreu devido à destinação de telhas de amianto porque neste ano houve mais substituições que o normal porque foram realizadas manutenções corretivas na fábrica. Além disso, os

indicadores de resíduos reciclados também apresentaram diminuição no mesmo ano.

Já o índice de Emissões Atmosféricas, que apresentou melhoria em todos os seus indicadores em 2013, no ano seguinte piorou seus resultados retomando o patamar prévio.

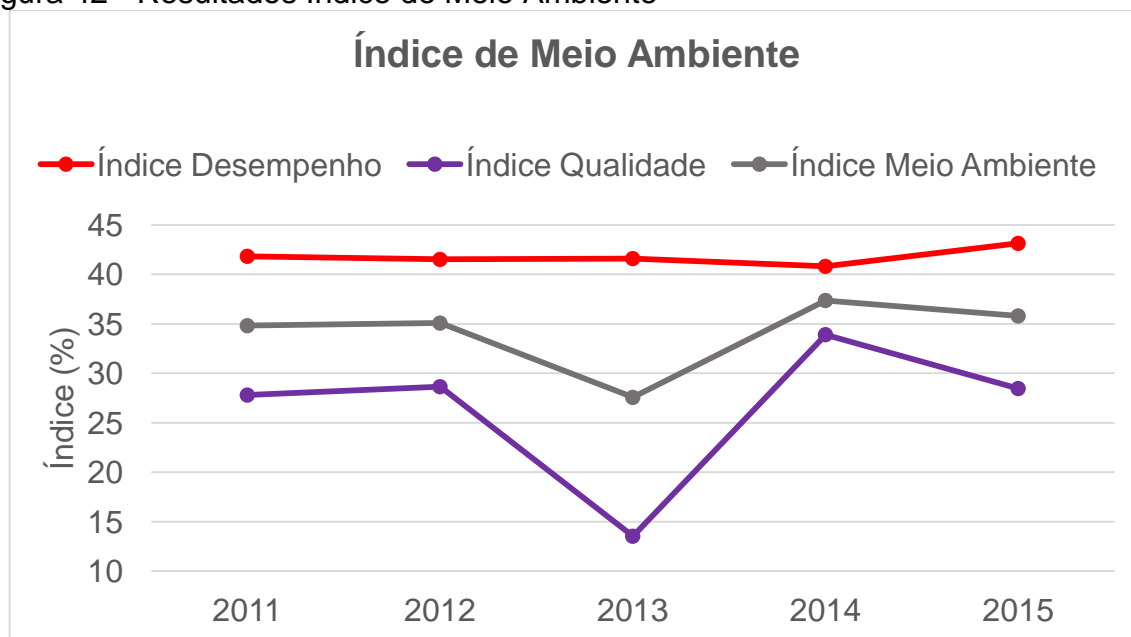
A consolidação dos Índices de Desempenho e Qualidade Ambiental no Índice de Meio Ambiente são exibidos na Tabela 18 e na Figura 42, de acordo com o estabelecido na Equação 8.

Tabela 18 - Resultados Índice de Meio Ambiente

Ano	Índice de Meio Ambiente (%)
2011	34,82
2012	35,08
2013	27,57
2014	37,37
2015	35,80

Fonte: A autora, 2017.

Figura 42 - Resultados Índice de Meio Ambiente



Fonte: A autora, 2017.

O Índice de Meio Ambiente apresenta comportamento semelhante ao Índice de Qualidade Ambiental, com aumentos e diminuições nos mesmos períodos. Todavia, suas variações são atenuadas, uma vez que seu resultado também é influenciado pelo Índice de Desempenho Ambiental que possui pequenas variações. A

modificação mais expressiva no Índice de Meio Ambiente ocorre em 2013 (-27%) e 2014 (26%), com inicial melhora e posterior piora nos resultados, seguida de uma melhora no ano de 2015 (-4%).

A comparação dos resultados desse trabalho com outros índices da literatura é inviável devido a customização dos mesmos em cada aplicação, adotando critérios e indicadores diferentes em cada caso.

Após analisar a série histórica com os resultados dos índices, e com o objetivo de guiar o tomador de decisão em uma determinada direção, é feita uma proposta de monitoramento dos resultados com base em uma faixa de controle e uma meta. Assim, determinada a meta anual para o índice, o gestor pode desdobrá-la em metas mensais para os indicadores e promover ações no sentido de minimizar os impactos ambientais da operação. O desdobramento deve levar em consideração as prioridades para definir o quanto deve melhorar em cada indicador de forma a obter a meta estipulada para o índice.

Para a definição da meta, inicialmente foi feita uma análise estatística dos dados, calculando a média e o desvio padrão dos índices. Com isso, obteve-se uma faixa de controle com variação de três desvios padrão da média para abranger uma região que contivesse 99,73% dos dados. Os resultados da análise estatística são apresentados na Tabela 19. Os critérios para definição da meta são abordados posteriormente.

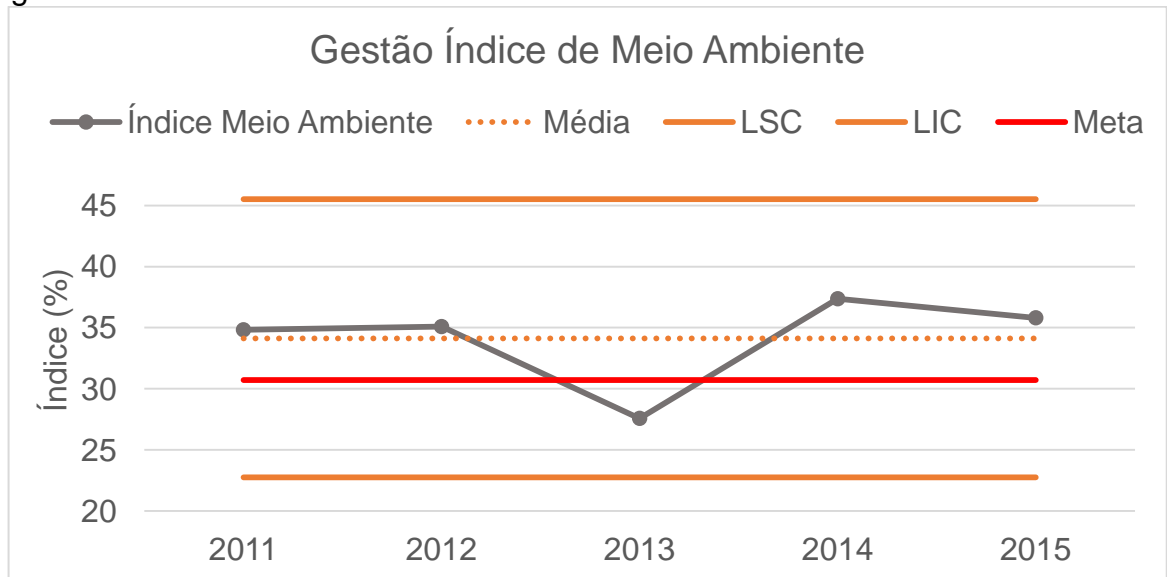
Tabela 19 - Proposta Gestão dos Índices

	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>	<b>LSC</b>	<b>LIC</b>	<b>Meta</b>
<b>Índice de Meio Ambiente</b>	34,13	3,80	45,52	22,74	30,72
<b>Índice Desempenho Ambiental</b>	41,78	0,85	44,33	39,24	40,95
<b>Índice Qualidade Ambiental</b>	26,47	7,64	49,38	3,57	23,83

Fonte: A autora, 2017.

Para a gestão do Índice de Meio Ambiente, estipulou-se uma meta anual de redução de 10% do valor médio dos resultados (aproximadamente 1 desvio padrão), o que corresponde a uma diminuição de 17% do último resultado (35,80). A meta é coerente com o comportamento do índice na série histórica, uma vez que este já alcançou resultado menor (27,57) e variações maiores (26% e 27%). A Figura 43 apresenta graficamente a proposta.

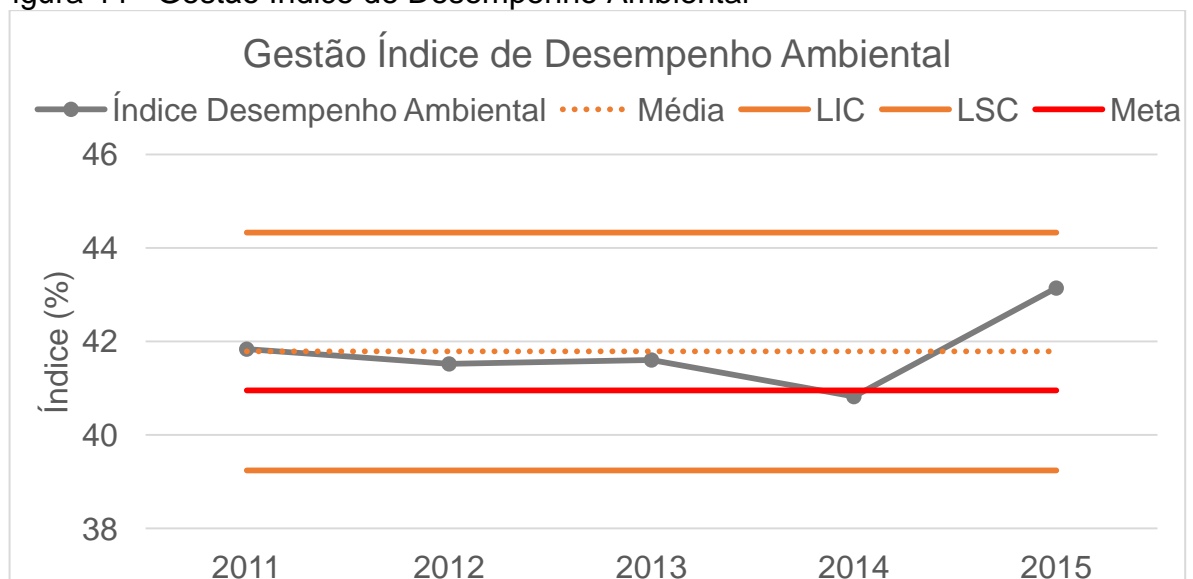
Figura 43 - Gestão Índice de Meio Ambiente



Fonte: A autora, 2017.

Para a gestão do Índice de Desempenho Ambiental, foi adotada uma meta anual de redução de 2% do valor médio dos resultados. A proposta seria se aproximar do menor valor da série histórica (40,82) e obter uma diminuição de 5% em relação ao último resultado (43,14). A meta é coerente com o comportamento do índice ao longo do tempo já que este possui desvio padrão muito baixo (0,85) e uma variação máxima de 5% no período analisado. A proposta é apresentada na Figura 44.

Figura 44 - Gestão Índice de Desempenho Ambiental

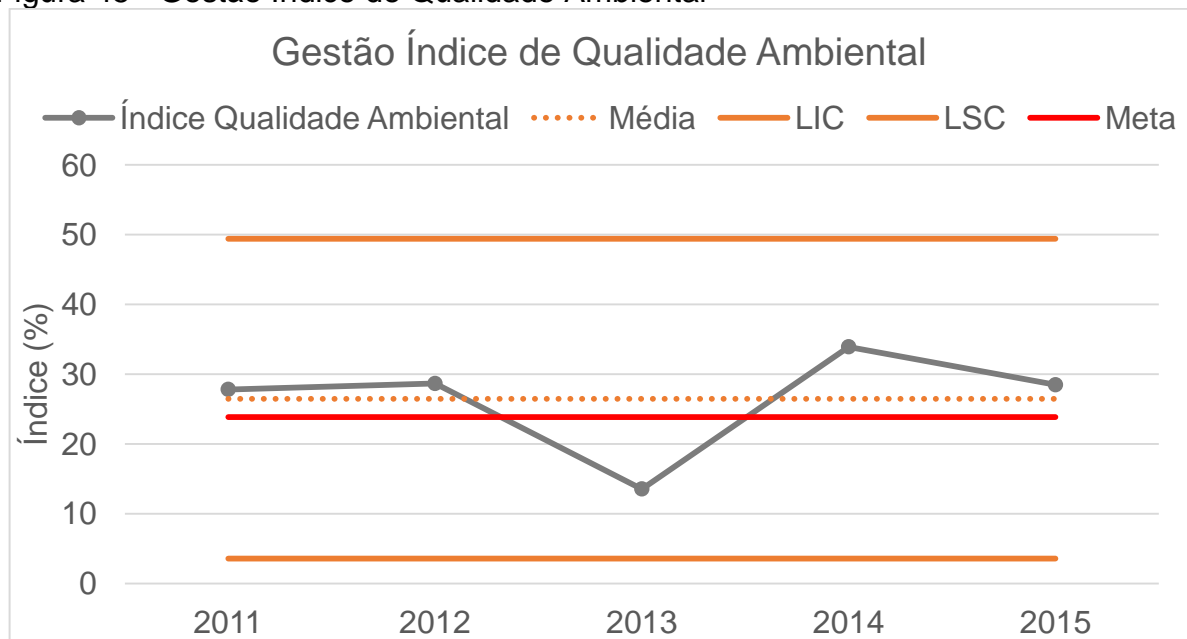


Fonte: A autora, 2017.



Para a gestão do Índice de Qualidade Ambiental, foi adotada uma meta anual de redução de 10% do valor médio dos resultados, referente a uma diminuição de 19% do último resultado (28,47). A meta é coerente com os resultados do índice uma vez que seu último intervalo apresentou mesmo percentual de melhoria e este já obteve resultados menores (13,54), além de maiores variações em apenas um ano (60% e 112%). A Figura 45 apresenta a proposta.

Figura 45 - Gestão Índice de Qualidade Ambiental



Fonte: A autora, 2017.

A cada ano as metas devem ser reavaliadas de forma a manter o desafio para a equipe e ao mesmo tempo a possibilidade de atingir os resultados. É importante ressaltar que as metas definidas para os índices devem ser desdobradas para os indicadores de acordo com a relevância de cada um no resultado do índice e com o esforço de processo e financeiro para atingir determinada melhoria.

## CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo geral desenvolver um modelo para obter um Índice de Meio Ambiente, priorizando critérios e indicadores com uma ferramenta de tomada de decisão, de forma a simplificar a gestão dos indicadores ambientais de uma empresa e ser uma forma de monitorar sua eficiência e evolução ao longo do tempo.

No estudo de caso, realizado em uma indústria produtora de insumos para refino de petróleo, o Índice de Meio Ambiente permitiu uma visão sintética dos resultados de 26 indicadores ambientais da companhia avaliados sob a ótica de 12 critérios, os quais pertencem a quatro áreas diferentes de interesse (Técnico, Socioambiental, Financeiro e Estratégico). A análise considerou um período de 5 anos para avaliar as variações nos resultados.

Os critérios e indicadores identificados a partir da revisão bibliográfica e por meio dos especialistas para formação do Índice de Meio Ambiente foram adequados para representar a gestão dos indicadores ambientais ao longo do tempo na companhia estudada. Foram abordados critérios referentes a quatro perspectivas diferentes e os indicadores abrangem uma gama de informações sobre os aspectos ambientais da fábrica.

Quanto a identificação na literatura de um método de apoio a tomada de decisão que fosse coerente com o problema em questão, após a revisão bibliográfica verificou-se a necessidade de associar dois MAMD de forma a usufruir os benefícios de cada um. A AHP é uma técnica de fácil entendimento para o usuário e grande relevância científica, porém devido à grande quantidade de indicadores adotados na fábrica, a comparação pareada dos 26 indicadores em cada um dos 12 subcritérios se tornaria muito exaustiva para os tomadores de decisão. Assim o MSP foi adotado para priorizar os indicadores específicos complementando a análise iniciada com a AHP.

Com relação ao objetivo de obter um índice que caracterizasse o estado da companhia sob o aspecto ambiental, durante o período analisado, o índice, o qual deve ser minimizado, alcançou um valor médio de 34,13%, operando em uma faixa de controle de 45,52% a 22,74%. O valor mínimo foi alcançado em 2013 (27,57%) e o último resultado em 2015 atingiu 35,80%.

Para auxiliar o gestor no monitoramento dos resultados do Índice de Meio Ambiente, foi estabelecida uma meta anual (30,72%), com base na análise do histórico dos resultados, para ser desdobrada entre os indicadores ao longo dos meses, de forma a incentivar a equipe a minimizar os impactos ambientais e guiar o tomador de decisão em uma determinada direção. Para o desdobramento da meta devem ser consideradas as prioridades de cada indicador de modo a obter a melhoria desejada.

A sensibilidade dos índices gerados neste estudo de caso é função dos coeficientes de priorização obtidos com a aplicação das técnicas AHP e MSP combinadas. Os índices possuem a interação de diferentes indicadores associados com seus respectivos pesos. Assim, quanto maior for a priorização de um indicador, mais sensível é o índice aos seus resultados, mas de forma geral, os índices obtidos neste trabalho são robustos, não sendo influenciados por pequenas variações nos resultados de apenas um indicador.

É importante frisar que a análise dos resultados ambientais de uma companhia deve ser feita de forma completa. A existência do índice não invalida a análise dos indicadores específicos, apenas facilita o gerenciamento das informações por parte do gestor sendo um meio de compreender e agrupar diferentes informações sobre a gestão ambiental da empresa.

No estudo de caso realizado, percebe-se na Figura 40 que o Índice de Desempenho Ambiental teve seu resultado neutralizado devido a variações complementares nos índices de Efluentes Líquidos e Resíduos Sólidos. Por isso, é fundamental entender o papel de cada nível na pirâmide da informação e quem é a figura associada a ele. Para a operação diária da fábrica, é importante ter a visão de todos os indicadores, porém para a gestão da companhia o índice é a forma mais apropriada de obter uma visão sistêmica do seu desempenho operacional. A análise do índice estratificada em níveis, proposta nesta dissertação, também é relevante para identificar a origem de eventuais flutuações nos dados de forma rastreável e controlável.

A análise dos impactos que mais contribuem para prejudicar o meio ambiente, de acordo com a empresa avaliada no estudo de caso, se torna possível após a priorização dos critérios e indicadores. Segundo os especialistas, o maior impacto seria referente às Emissões Atmosféricas (41% - Figura 33), o que é justificado pela

maior exposição dos trabalhadores e moradores, pela poluição visual, pela possibilidade de extensa propagação e pela sensação do odor.

No estudo de caso, a aplicação dos questionários de priorização a um grupo de profissionais da empresa torna os resultados válidos para serem adotados na gestão ambiental da companhia porque o grupo definiu a prioridade de cada indicador ambiental de acordo com a política ambiental, a cultura e os valores da empresa em questão. Apesar da amostra ser pequena, o grupo de tomadores de decisão possui qualidade devido à sua formação técnica e ao conhecimento do processo sobre o qual fizeram o julgamento, o que é comprovado pela baixa variabilidade entre as respostas e pela consistência das mesmas.

Assim, os principais benefícios na obtenção do Índice de Meio Ambiente para uma companhia são:

- a) Possibilitar uma visão sistêmica dos resultados dos indicadores ambientais, atuando como uma diretriz para o tomador de decisão;
- b) Possibilitar a definição de metas para a equipe de forma a minimizar a geração de impactos ambientais até o limite permitido pelo processo;
- c) Possibilitar a elaboração de planos de mitigação para atender às exigências dos órgãos ambientais ou permitir uma atuação preventiva sobre elas;
- d) Em um cenário com recursos financeiros limitados, auxiliar na escolha de quais projetos devam ser realizados na área ambiental visando melhorar os indicadores que possuem maior priorização e por isso trariam maior impacto no índice.

Como recomendação para a empresa onde foi realizado o estudo de caso, após implementada a sistemática de acompanhamento do Índice de Meio Ambiente, em uma próxima etapa deve-se reavaliar periodicamente as priorizações dos especialistas de modo a manter o índice atualizado com o processo industrial, as diretrizes da companhia, os avanços tecnológicos e os requisitos legais. É interessante analisar, ao longo do tempo, as mudanças na priorização de critérios e indicadores diante de modificações na visão dos tomadores de decisão.

A revisão do índice pode se estender também a uma avaliação dos critérios e indicadores que o compõe, de forma a verificar se é necessário incluir ou descartar alguma medição ou ainda revisar a faixa de atuação de algum indicador. No caso da fábrica analisada no estudo de caso, há produção de insumos para refino de

petróleo. Se a fábrica desejar produzir um novo insumo, como novas matérias primas, que altere a qualidade dos efluentes, resíduos ou emissões, cabe a inserção de um novo indicador no índice. A mesma análise pode ser feita no caso da empresa deixar de produzir algum insumo e assim algum indicador se tornar dispensável. O prejuízo dessa reavaliação é a perda do histórico comparativo a cada mudança realizada nos parâmetros do modelo.

Outra recomendação para a empresa seria a criação de uma rotina de avaliação das metas estipuladas para a equipe de forma a desafiar a operação da companhia a alcançar a melhoria contínua. Quanto aos planos de mitigação, estes também devem ser reavaliados de acordo com mudanças nas exigências dos órgãos ambientais.

Uma análise interessante seria estender o modelo de avaliação da gestão dos indicadores ambientais às demais unidades da empresa com o mesmo processo produtivo, de modo que fosse possível estimular a busca das melhores práticas entre as operações. Outra possibilidade é a avaliação do impacto de projetos e ações realizadas na fábrica nos resultados do índice, de forma a calcular o custo benefício desses investimentos.

O procedimento e os índices propostos por essa dissertação podem ser adotados em qualquer indústria química, porém é necessário customizar de acordo com as características de cada processo produtivo. Há indicadores gerais que a maioria das indústrias monitoram, porém em cada uma há especificidades que devem ser analisadas.

Além disso, diversos fatores podem influenciar na priorização dos critérios e dos indicadores como o tipo de produto, o sistema de gestão, a localização da empresa, a relação dos impactos ambientais com a comunidade local e os requisitos exigidos pelos órgãos ambientais. Isso reforça a importância de se ter um índice customizado. Por exemplo, o processo produtivo da empresa avaliada no estudo de caso possui efluente altamente salino, o que determinou sua localização, e das demais unidades da empresa, em uma baía de água salobra. Se ela estivesse em outro local, a priorização dos indicadores de efluentes líquidos seria maior.

A criação de um modelo para avaliação da gestão dos indicadores ambientais de uma empresa, elaborado nessa dissertação, não tem como intuito aplicar uma equação pré-definida a diferentes organizações, mas sim possibilitar a adaptação dos parâmetros do modelo, de acordo com as respectivas necessidades.

## REFERÊNCIAS

ABRAMCZUK, A. A. *A prática da tomada de decisão*. São Paulo: Atlas, 2009.

ALBERTON, A.; DA COSTA JR, N. C. Meio ambiente e desempenho econômico-financeiro: benefícios dos Sistemas de Gestão Ambiental (SGAs) e o impacto da ISO 14001 nas empresas brasileiras. *XXVIII – Encontro da ANPAD*, Curitiba, PR, set. 2004.

ALMEIDA, T. S.; SELLITTO, M. A. Avaliação do desempenho ambiental de uma instituição pública de ensino técnico e superior. *Produção*, [S.l.], v. 23, p. 625-636, jul/set. 2013.

ALMEIDA, A. T. *Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. São Paulo: Atlas, 2013.

ANTAQ. Apresenta informações sobre a agência. Disponível em: <[http://www.antaq.gov.br/Portal/MeioAmbiente\\_IDA.asp](http://www.antaq.gov.br/Portal/MeioAmbiente_IDA.asp)>. Acesso em: 19 out. 2016.

BOLLMANN, H. A.; EDWIGES, T. Avaliação da qualidade das águas do Rio Belém, Curitiba-PR, com o emprego de indicadores quantitativos e perceptivos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Curitiba, PR, v. 13, n. 4, p. 443-452, out/dez. 2008.

BORGES, L. A.; REZENDE, J. L.; PEREIRA, J. A.. Evolução da Legislação Ambiental no Brasil. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, [S.l.], v.2, p. 447-46.2009.

CAMPOS, L. M.; MELO, D. A. Indicadores de desempenho dos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA): uma pesquisa teórica. *Produção*, [S.l.], p. 540-555, set. 2008.

CASTRO, S. O.; et. al. Metodologia para avaliação de desempenho ambiental em fabricação utilizando um método de apoio à decisão multicriterial. *Estudos tecnológicos*, [S.l.], p. 21-29, jul/dez. 2005.

CNI. Encontros CNI Sustentabilidade, 4ª ed., 2015, Rio de Janeiro. Percepção de 100 executivos sobre o impacto das mudanças climáticas e práticas de sustentabilidade nos negócios. Disponível em:

<<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/cni-sustentabilidade/memoria-2015-mudancas-climaticas/#tab-plugin-1>>. Acesso em: 3 nov. 2016.

DE MARTINI, L. C.; FIGUEIREDO, M. A.; GUSMÃO, A. C. *Redução de resíduos industriais: como produzir mais com menos*. Rio de Janeiro: Aquarius, 2005.

DE MARTINI, L. C.; GUSMÃO, A. C. *Gestão ambiental na indústria*. Rio de Janeiro: SMS Digital, 2009.

EEA. *Digest of EEA indicators 2014*. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/publications/digest-of-eea-indicators-2014>>. Acesso em: 21 julho 2016.

ENEA, M.; PIAZZA, T. Project Selection by Constrained Fuzzy AHP. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, [S.l.], p. 39-62. 2004.

FERREIRA, M.; et. al. Ferramentas de seleção de projetos de P&D no setor elétrico brasileiro com base em modelos de decisão multicritérios. *XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, São Carlos, SP, out. 2010.

FIESP. *Cartilha: Indicadores de desempenho ambiental da indústria*. São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/indicadores-de-desempenho-ambiental-da-industria-2004/>>. Acesso em: 19 julho 2016.

FIESP. *ISO 14001:2015 - Saiba o que muda na nova versão da norma*. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/iso-140012015-saiba-o-que-muda-na-nova-versao-da-norma/>>. Acesso em: 19 julho 2016.

FIESP; PNUMA. *Produção e Consumo Sustentáveis (PCS) – Tendências e Oportunidades para o setor de negócios*. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/guia-de-producao-e-consumo-sustentaveis-tendencias-e-oportunidades-para-o-setor-de-negocios/>>. Acesso em: 19 julho 2016.

FIRJAN. *Manual de Indicadores Ambientais*. Rio de Janeiro: 2008. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8F4EBC426A014ED04E180C14F6&inline=1>>. Acesso em: 19 julho 2016.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA QUALIDADE. *Sistema de Indicadores*. [S.l.], 2014. Disponível em: <[www.fnq.org.br](http://www.fnq.org.br)>. Acesso em: 19 julho 2016.

GANEM, R. S.. Legislação brasileira sobre meio ambiente. *Edições Câmara*, Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<http://www.camara.leg.br/editora>>. Acesso em: 18 nov. 2016 .

GARCÍA-SÁNCHEZ, I. M.;ALMEIDA, T. A.;CAMARA, R. P. A proposal for a Composite Index of Environmental Performance (CIEP) for countries. *Ecological Indicators*, p. 171-188, 2015.

GHG PROTOCOL BRASIL, Apresenta informações sobre o protocolo GHG. Disponível em:<<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/>>. Acesso em: 21 junho2017.

GOMES, L. F.; GOMES, C. F. *Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério*. São Paulo: Atlas, 2014.

HSU, A. *Environmental Performance Index*. New Haven: Yale University, 2016. Disponível em: <[www.epi.yale.edu](http://www.epi.yale.edu)>. Acessado em: 20 nov. 2016.

HSU, A.;JOHNSON, L.;LOYD, A. *Measuring Progress: A Practical Guide From the Developers of the Environmental Performance Index (EPI)*. New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy,2013.

HUANG, Y.;et. al. Multiobjective Optimization on Antiplatelet Effects of Three Components Combination by Quantitative Composition–activity Relationship Modeling and Weighted-Sum Method. *Chem Biol Drug Des*, p. 513–521, 2014.

HYUN, K.-C., et. al. Risk analysis using fault-tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicable to shield TBM tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, p. 121-129,2015.

INEA. Apresenta informações sobre o instituto. Disponível em:<[http://200.20.53.3:8081/Portal/MegaDropDown/Institucional/O\\_que\\_e\\_o\\_Inea/index.htm&lang=>](http://200.20.53.3:8081/Portal/MegaDropDown/Institucional/O_que_e_o_Inea/index.htm&lang=>)>. Acesso em: 05 out. 2016.



INMETRO. *Certifiq - Sistema de Gerenciamento de Certificados*. Disponível em: <<http://certifiq.inmetro.gov.br>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

ISO. *The ISO Survey of Management System Standard Certifications*, 2014. Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/home/standards/certification/iso-survey.htm?certificate=ISO%2014001&countrycode=BR#countrypick>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR ISO 14031 – Gestão Ambiental – Avaliação de Desempenho Ambiental – Diretrizes. Norma Técnica. ABNT, Rio de Janeiro, 2015.

KUCUKALTAN, B.; IRANI, Z.; AKTAS, E. A decision support model for identification and prioritization of key performance indicators in the logistics industry. *Computers in Human Behavior*, [S.l.], p. 346-358, 2016.

LOBATO, F. S.; et. al. Resolução de problemas de controle ótimo multi-objetivo via abordagem indireta. *16° POSMEC FEMEC/UFU*. Uberlândia, MG, 2006.

LUZ, S. O.; SELLITTO, M. A.; GOMES, L. P. Medição de Desempenho Ambiental baseada em método multicriterial de apoio à decisão: estudo de caso na indústria automotiva. *Gestão e Produção*, p. 557-570, 2006.

MAZZI, A.; et. al. What are the benefits and difficulties in adopting an environmental management system? The opinion of Italian organizations. *Journal of Cleaner Production*, 2016.

MONTEIRO, P. R.; CASTRO, A. R.; PROCHNIK, V. A mensuração do desempenho ambiental no Balanced Scorecard. *VII Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio*, FGV/USP, São Paulo, SP, 2003.

OLIVEIRA, J. A.; et. al. Factors for promoting the Environmental Management System ISO 14001 for the adoption of Cleaner Production practices. *Journal of Cleaner Production*, 2016.

OLIVEIRA, O. J.; SERRA, J. R.; SALGADO, M. H. Does ISO 14001 work in Brazil? *Journal of Cleaner Production*, p. 1797-1806, 2010.

PANTUZA, G. J. Uma abordagem multiobjetivo para o problema de sequenciamento e alocação de trabalhadores. *Gestão e Produção*, p. 132-145, 2016.

PERDIGÃO, J. G., et. al. Processo Decisório: um Estudo Comparativo da Tomada de Decisão em Organizações de Segmentos Distintos. *IX Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*, 2012.

PEROTTO, E., et. al. Environmental performance, indicators and measurement uncertainty in EMS context: a case study. *Journal of Cleaner Production*, p. 517-530, 2008.

PODGÓRSKI, D. Measuring operational performance of OSH management system – A demonstration of AHP-based selection of leading key performance indicators. *Safety Science*, p. 146-166, 2015

PORTAL ACTION, Apresenta informações sobre estatística. Disponível em:<[www.portalaction.com.br/probabilidades/62-distribuicao-normal](http://www.portalaction.com.br/probabilidades/62-distribuicao-normal)>. Acesso em: 11julho2017.

PORTAL BRASIL. Apresenta informações sobre a legislação ambiental. 2010. Disponível em:<<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2010/10/legislacao>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

PRÉVE, A. D.;MORITZ, G. D.;PEREIRA, M. F. *Organização, processos e tomada de decisão*. Florianópolis: UAB, 2010.

RAFAELI, L.;MULLER, C. J. Estruturação de um índice consolidado de desempenho utilizando o AHP. *Gestão da Produção*, p. 363-377.maio/ago. 2007.

RIO+20. Apresenta informações sobre a Rio+20. 2012. Disponível em:<[http://www.rio20.gov.br/sobre\\_a\\_rio\\_mais\\_20.html](http://www.rio20.gov.br/sobre_a_rio_mais_20.html)>. Acesso em: 21 set. 2016.

RUSSO, R.; CAMANHO, R. Criteria in AHP: a Systematic Review of Literature. *Procedia Computer Science*, p. 1123-1132, 2015.

SAATY, T. L. Ele ajuda a decidir. Exame, São Paulo, 22 abril 2003.

SAATY, T. L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, p. 9-26, 1990.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, v. 1, p. 83-98, 2008.

SELLITTO, M. A.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G. M. Avaliação de desempenho ambiental em duas operações de manufatura. *XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, out. 2008. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008\\_TN\\_STO\\_069\\_490\\_10886.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_069_490_10886.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2016.

SPADOTTO, C. A., et. al. Monitoramento do risco ambiental de agrotóxicos: princípios e recomendações. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004.

SUBRAMANIAN, N.; RAMANATHAN, R. A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. *International Journal of Production Economics*, p. 215-241, 2012

TEIXEIRA, J. C.; PAGANINE, J.; GUEDES, S. Em discussão!, Brasília, DF, ed. 11, 2012. Disponível em: <[http://www.senado.gov.br/noticias/jornal/emdiscussao/Upload/201202%20-%20maio/pdf/em%20discuss%C3%A3o!\\_maio\\_2012\\_internet.pdf](http://www.senado.gov.br/noticias/jornal/emdiscussao/Upload/201202%20-%20maio/pdf/em%20discuss%C3%A3o!_maio_2012_internet.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2015.

VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, p. 1-29, 2006.

VARGAS, R.V. Utilizando a programação multicritério (AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. *PMI Global Congress – América do Norte*, 2010, Washington. Disponível em: <<http://www.ricardo-vargas.com/articles/analytic-hierarchy-process/#portuguese>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

ZYLBERSZTAJN, D.; LINS, C.; LEMME, C. F. *Sustentabilidade e geração de valor: a transição para o século XXI*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

## APÊNDICE A – Questionário

### Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPG-EQ)



Prezado (a),

O objetivo deste questionário é realizar a coleta de dados para desenvolvimento de um estudo de caso com a empresa para uma Dissertação de Mestrado em Engenharia Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Com as respostas do questionário, será possível priorizar os indicadores ambientais da empresa e obter um Índice de Meio Ambiente. Foram adotadas as técnicas Análise Hierárquica de Processos (AHP) e Método da Soma Ponderada (MSP) para montagem do questionário e tratamento dos dados. Nesta etapa da pesquisa, coletaremos suas opiniões para identificar o grau de importância de cada critério e indicador em relação aos demais. As respostas devem levar em consideração sua experiência profissional e a cultura e os valores adotados pela empresa. Desde já, agradeço a sua colaboração no desenvolvimento desta pesquisa. A seguir estão descritos os critérios adotados para a avaliação dos indicadores:

→ *Critérios Socioambientais*

- Efeito na Saúde do Trabalhador: uma variação no indicador afetaria a saúde humana?
- Efeito no Meio Ambiente: uma variação no indicador afetaria a fauna e flora local?
- Efeito na Comunidade Local: uma variação no indicador afetaria a comunidade local?

→ *Critérios Financeiros*

- Investimento para Tratamento: o investimento inicial/operacional para melhoria desse indicador é alto?
- Manutenção: uma variação nesse indicador, acarreta em aumento de manutenção?
- Influência no Custo de Produção: uma variação nesse indicador acarreta em maiores custos de produção?

→ *Critérios Estratégicos*

- Efeito na Reputação da Empresa: uma variação nesse indicador afetaria a imagem da empresa negativamente?
- Influência em Requisitos Legais: a legislação atual desse indicador é restritiva ou o indicador está próximo do limite permitido por lei?
- Influência na Transparência da Empresa: a falta de divulgação desse indicador indica que a empresa não é transparente quanto aos seus dados?

→ *Critérios Técnicos*

- Efeito na Qualidade do Produto: há influência negativa na qualidade do produto se houver uma variação nesse indicador?
- Necessidade de Mudança de Processo: para haver melhoria nesse indicador é preciso uma mudança no processo?
- Efeito no Processo: uma variação desse indicador causa piora ou engargalamento no processo?

**QUESTIONÁRIO 1:**

Por favor, preencha seu nome e os campos abaixo seguindo as instruções. A identificação é apenas para controle da pesquisa, não serão apresentadas respostas individuais.

Nome:

**INSTRUÇÃO:**

Marque com um X uma opção em cada uma das linhas apresentadas nos quadros abaixo, conforme as escalas propostas.

A comparação deve ser iniciada com as alternativas da Coluna A, comparando-as com as alternativas da Coluna B.

Exemplo de pergunta para a 1ª linha: Qual a importância do critério Socioambiental com relação ao Critério Financeiro?

Critério A	"A" MAIS IMPORTANTE				A = B	"B" MAIS IMPORTANTE				Critério B
	9 absoluto	7 muito forte	5 forte	3 fraco	1 igual	3 fraco	5 forte	7 muito forte	9 absoluto	
Socioambiental										Financeiro
Socioambiental										Estratégico
Socioambiental										Técnico
Financeiro										Estratégico
Financeiro										Técnico
Estratégico										Técnico

**Dentro dos critérios socioambientais:**

Critério A	"A" MAIS IMPORTANTE				A = B	"B" MAIS IMPORTANTE				Critério B
	9 absoluto	7 muito forte	5 forte	3 fraco	1 igual	3 fraco	5 forte	7 muito forte	9 absoluto	
Efeito na Saúde do Trabalhador										Efeito no Meio Ambiente
Efeito na Saúde do Trabalhador										Efeito na Comunidade Local
Efeito no Meio Ambiente										Efeito na Comunidade Local

**Dentro dos critérios financeiros:**

Critério A	"A" MAIS IMPORTANTE				A = B	"B" MAIS IMPORTANTE				Critério B
	9 absoluto	7 muito forte	5 forte	3 fraco	1 igual	3 fraco	5 forte	7 muito forte	9 absoluto	
Investimento para Tratamento										Manutenção
Investimento para Tratamento										Influência no Custo de Produção
Manutenção										Influência no Custo de Produção

**Dentro dos critérios estratégicos:**

Critério A	"A" MAIS IMPORTANTE				A = B	"B" MAIS IMPORTANTE				Critério B
	9 absoluto	7 muito forte	5 forte	3 fraco	1 igual	3 fraco	5 forte	7 muito forte	9 absoluto	
Efeito na Reputação da Empresa										Influência em Requisitos Legais
Efeito na Reputação da Empresa										Influência na Transparência da Empresa
Influência em Requisitos Legais										Influência na Transparência da Empresa

**Dentro dos critérios técnicos:**

Critério A	"A" MAIS IMPORTANTE				A = B	"B" MAIS IMPORTANTE				Critério B
	9 absoluto	7 muito forte	5 forte	3 fraco	1 igual	3 fraco	5 forte	7 muito forte	9 absoluto	
Efeito na Qualidade do Produto										Necessidade de Mudança de Processo
Efeito na Qualidade do Produto										Efeito no Processo
Necessidade de Mudança de Processo										Efeito no Processo

**Com relação ao critério Efeito na Saúde do Trabalhador:**

Índice A	"A" MAIS IMPORTANTE				A = B	"B" MAIS IMPORTANTE				Índice B
	9 absoluto	7 muito forte	5 forte	3 fraco	1 igual	3 fraco	5 forte	7 muito forte	9 absoluto	
Efluentes Líquidos										Resíduos Sólidos
Efluentes Líquidos										Emissões Atmosféricas
Resíduos Sólidos										Emissões Atmosféricas

**Com relação ao critério Efeito no Meio Ambiente:**

Índice A	"A" MAIS IMPORTANTE				A = B	"B" MAIS IMPORTANTE				Índice B
	9 absoluto	7 muito forte	5 forte	3 fraco	1 igual	3 fraco	5 forte	7 muito forte	9 absoluto	
Efluentes Líquidos										Resíduos Sólidos
Efluentes Líquidos										Emissões Atmosféricas
Resíduos Sólidos										Emissões Atmosféricas

**Com relação ao critério Efeito na Comunidade Local:**

Índice A	"A" MAIS IMPORTANTE				A = B	"B" MAIS IMPORTANTE				Índice B
	9 absoluto	7 muito forte	5 forte	3 fraco	1 igual	3 fraco	5 forte	7 muito forte	9 absoluto	
Efluentes Líquidos										Resíduos Sólidos
Efluentes Líquidos										Emissões Atmosféricas
Resíduos Sólidos										Emissões Atmosféricas

**Com relação ao critério Investimento para Tratamento:**

Índice A	"A" MAIS IMPORTANTE				A = B	"B" MAIS IMPORTANTE				Índice B
	9 absoluto	7 muito forte	5 forte	3 fraco	1 igual	3 fraco	5 forte	7 muito forte	9 absoluto	
Efluentes Líquidos										Resíduos Sólidos
Efluentes Líquidos										Emissões Atmosféricas
Resíduos Sólidos										Emissões Atmosféricas

**Com relação ao critério Manutenção:**

Índice A	"A" MAIS IMPORTANTE				A = B	"B" MAIS IMPORTANTE				Índice B
	9 absoluto	7 muito forte	5 forte	3 fraco	1 igual	3 fraco	5 forte	7 muito forte	9 absoluto	
Efluentes Líquidos										Resíduos Sólidos
Efluentes Líquidos										Emissões Atmosféricas
Resíduos Sólidos										Emissões Atmosféricas

**Com relação ao critério Influência no Custo de Produção:**

Índice A	"A" MAIS IMPORTANTE				A = B	"B" MAIS IMPORTANTE				Índice B
	9 absoluto	7 muito forte	5 forte	3 fraco	1 igual	3 fraco	5 forte	7 muito forte	9 absoluto	
Efluentes Líquidos										Resíduos Sólidos
Efluentes Líquidos										Emissões Atmosféricas
Resíduos Sólidos										Emissões Atmosféricas

**Com relação ao critério Efeito na Reputação da Empresa:**

Índice A	"A" MAIS IMPORTANTE				A = B	"B" MAIS IMPORTANTE				Índice B
	9 absoluto	7 muito forte	5 forte	3 fraco	1 igual	3 fraco	5 forte	7 muito forte	9 absoluto	
Efluentes Líquidos										Resíduos Sólidos
Efluentes Líquidos										Emissões Atmosféricas
Resíduos Sólidos										Emissões Atmosféricas

**Com relação ao critério Influência em Requisitos Legais:**

Índice A	"A" MAIS IMPORTANTE				A = B	"B" MAIS IMPORTANTE				Índice B
	9 absoluto	7 muito forte	5 forte	3 fraco	1 igual	3 fraco	5 forte	7 muito forte	9 absoluto	
Efluentes Líquidos										Resíduos Sólidos
Efluentes Líquidos										Emissões Atmosféricas
Resíduos Sólidos										Emissões Atmosféricas

**Com relação ao critério Influência na Transparência da Empresa:**

Índice A	"A" MAIS IMPORTANTE				A = B	"B" MAIS IMPORTANTE				Índice B
	9 absoluto	7 muito forte	5 forte	3 fraco	1 igual	3 fraco	5 forte	7 muito forte	9 absoluto	
Efluentes Líquidos										Resíduos Sólidos
Efluentes Líquidos										Emissões Atmosféricas
Resíduos Sólidos										Emissões Atmosféricas

**Com relação ao critério Efeito na Qualidade do Produto:**

Índice A	"A" MAIS IMPORTANTE				A = B	"B" MAIS IMPORTANTE				Índice B
	9 absoluto	7 muito forte	5 forte	3 fraco	1 igual	3 fraco	5 forte	7 muito forte	9 absoluto	
Efluentes Líquidos										Resíduos Sólidos
Efluentes Líquidos										Emissões Atmosféricas
Resíduos Sólidos										Emissões Atmosféricas

**Com relação ao critério Necessidade de Mudança de Processo:**

Índice A	"A" MAIS IMPORTANTE				A = B	"B" MAIS IMPORTANTE				Índice B
	9 absoluto	7 muito forte	5 forte	3 fraco	1 igual	3 fraco	5 forte	7 muito forte	9 absoluto	
Efluentes Líquidos										Resíduos Sólidos
Efluentes Líquidos										Emissões Atmosféricas
Resíduos Sólidos										Emissões Atmosféricas

**Com relação ao critério Efeito no Processo:**

Índice A	"A" MAIS IMPORTANTE				A = B	"B" MAIS IMPORTANTE				Índice B
	9 absoluto	7 muito forte	5 forte	3 fraco	1 igual	3 fraco	5 forte	7 muito forte	9 absoluto	
Efluentes Líquidos										Resíduos Sólidos
Efluentes Líquidos										Emissões Atmosféricas
Resíduos Sólidos										Emissões Atmosféricas









## APÊNDICE B – Resultados AHP

### 1ª etapa: Priorização dos Critérios

	Socioambiental	Financeiro	Estratégico	Técnico
Socioambiental	1	3	1	1
Financeiro	1/3	1	1	1/3
Estratégico	1	1	1	1/2
Técnico	1	3	2	1
Total	3,33	8,00	5,00	2,83

- Normalização e Cálculo Autovetor

	Socioambiental	Financeiro	Estratégico	Técnico	Auto- vetor
Socioambiental	0,30	0,38	0,20	0,35	0,31
Financeiro	0,10	0,13	0,20	0,12	0,14
Estratégico	0,30	0,13	0,20	0,18	0,20
Técnico	0,30	0,38	0,40	0,35	0,36

- Taxa de Consistência

Autovalor	<b>4,12</b>
Índice Consistência	0,04
Taxa Consistência	4,51%

### 2ª etapa: Priorização dos Subcritérios

#### ➤ Subcritérios Socioambientais

	Efeito na Saúde do Trabalhador	Efeito no Meio Ambiente	Efeito na Comunidade Local
Efeito na Saúde do Trabalhador	1	2	2
Efeito no Meio Ambiente	1/2	1	1/2
Efeito na Comunidade Local	1/2	2	1
Total	2,00	5,00	3,50

- Normalização e Cálculo Autovetor

	Efeito na Saúde do Trabalhador	Efeito no Meio Ambiente	Efeito na Comunidade Local	Auto-vetor
Efeito na Saúde do Trabalhador	0,50	0,40	0,57	0,49
Efeito no Meio Ambiente	0,25	0,20	0,14	0,20
Efeito na Comunidade Local	0,25	0,40	0,29	0,31

- Taxa de Consistência

Autovalor	<b>3,06</b>
Índice Consistência	0,03
Taxa Consistência	5,23%

➤ **Subcritérios Financeiros**

	Investimento para Tratamento	Manutenção	Influência no Custo de Produção
Investimento para Tratamento	1	2	½
Manutenção	1/2	1	1/5
Influência no Custo de Produção	2	5	1
Total	3,50	8,00	1,70

- Normalização e Cálculo Autovetor

	Investimento para Tratamento	Manutenção	Influência no Custo de Produção	Auto-vetor
Investimento para Tratamento	0,29	0,25	0,29	0,28
Manutenção	0,14	0,13	0,12	0,13
Influência no Custo de Produção	0,57	0,63	0,59	0,59

- Taxa de Consistência

Autovalor	<b>3,01</b>
Índice Consistência	0,004
Taxa Consistência	0,64%

➤ **Subcritérios Estratégicos**

	Efeito na Reputação da Empresa	Influência em Requisitos Legais	Influência na Transparência da Empresa
Efeito na Reputação da Empresa	1	1	1
Influência em Requisitos Legais	1	1	2
Influência na Transparência da Empresa	1	1/2	1
<b>Total</b>	<b>3,00</b>	<b>2,50</b>	<b>4,00</b>

• Normalização e Cálculo Autovetor

	Efeito na Reputação da Empresa	Influência em Requisitos Legais	Influência na Transparência da Empresa	Auto-vetor
Efeito na Reputação da Empresa	0,33	0,40	0,25	0,33
Influência em Requisitos Legais	0,33	0,40	0,50	0,41
Influência na Transparência da Empresa	0,33	0,20	0,25	0,26

• Taxa de Consistência

Autovalor	<b>3,06</b>
Índice Consistência	0,03
Taxa Consistência	4,79%

➤ **Subcritérios Técnicos**

	Efeito na Qualidade do Produto	Necessidade de Mudança de Processo	Efeito no Processo
Efeito na Qualidade do Produto	1	7	5
Necessidade de Mudança de Processo	1/7	1	1/3
Efeito no Processo	1/5	3	1
<b>Total</b>	<b>1,34</b>	<b>11,00</b>	<b>6,33</b>

- Normalização e Cálculo Autovetor

	Efeito na Qualidade do Produto	Necessidade de Mudança de Processo	Efeito no Processo	Auto- vetor
Efeito na Qualidade do Produto	0,74	0,64	0,79	0,72
Necessidade de Mudança de Processo	0,11	0,09	0,05	0,08
Efeito no Processo	0,15	0,27	0,16	0,19

- Taxa de Consistência

Autovalor	<b>3,11</b>
Índice Consistência	0,06
Taxa Consistência	9,61%

### 3ª etapa: Prioridade Global

Prioridade Critério	Prioridade Subcritério		Prioridade Global
<b>Socioambiental 0,31</b>	Efeito na Saúde do Trabalhador	0,49	0,15
	Efeito no Meio Ambiente	0,20	0,06
	Efeito na Comunidade Local	0,31	0,10
<b>Financeiro 0,14</b>	Investimento para Tratamento	0,28	0,04
	Manutenção	0,13	0,02
	Influência no Custo de Produção	0,59	0,08
<b>Estratégico 0,20</b>	Efeito na Reputação da Empresa	0,33	0,07
	Influência em Requisitos Legais	0,41	0,08
	Influência na Transparência da Empresa	0,26	0,05
<b>Técnico 0,36</b>	Efeito na Qualidade do Produto	0,72	0,26
	Necessidade de Mudança de Processo	0,08	0,03
	Efeito no Processo	0,19	0,07

### 4ª etapa: Avaliação dos índices em cada subcritério

- Subcritério Efeito na Saúde do Trabalhador

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas
Efluentes Líquidos	1	1	1/8
Resíduos Sólidos	1	1	1/7
Emissões Atmosféricas	8	7	1
Total	10,00	9,00	1,27

- Normalização e Cálculo Autovetor

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas	Autovetor
Efluentes Líquidos	0,10	0,11	0,10	0,10
Resíduos Sólidos	0,10	0,11	0,11	0,11
Emissões Atmosféricas	0,80	0,78	0,79	0,79

- Taxa de Consistência

Autovalor	<b>3,00</b>
Índice Consistência	0,002
Taxa Consistência	0,33%

➤ **Subcritério Efeito no Meio Ambiente**

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas
Efluentes Líquidos	1	6	1
Resíduos Sólidos	1/6	1	¼
Emissões Atmosféricas	1	4	1
Total	2,17	11,00	2,25

- Normalização e Cálculo Autovetor

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas	Autovetor
Efluentes Líquidos	0,46	0,55	0,44	0,48
Resíduos Sólidos	0,08	0,09	0,11	0,09
Emissões Atmosféricas	0,46	0,36	0,44	0,42

- Taxa de Consistência

Autovalor	<b>3,02</b>
Índice Consistência	0,01
Taxa Consistência	2,01%

➤ **Subcritério Efeito na Comunidade Local**

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas
Efluentes Líquidos	1	2	¼
Resíduos Sólidos	1/2	1	¼
Emissões Atmosféricas	4	4	1
Total	5,50	7,00	1,50

- Normalização e Cálculo Autovetor

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas	Autovetor
Efluentes Líquidos	0,18	0,29	0,17	0,21
Resíduos Sólidos	0,09	0,14	0,17	0,13
Emissões Atmosféricas	0,73	0,57	0,67	0,66

- Taxa de Consistência

Autovalor	<b>3,08</b>
Índice Consistência	0,04
Taxa Consistência	6,87%

➤ **Subcritério Investimento para Tratamento**

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas
Efluentes Líquidos	1	5	1/3
Resíduos Sólidos	1/5	1	1/7
Emissões Atmosféricas	3	7	1
Total	4,20	13,00	1,48

- Normalização e Cálculo Autovetor

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas	Autovetor
Efluentes Líquidos	0,24	0,38	0,23	0,28
Resíduos Sólidos	0,05	0,08	0,10	0,07
Emissões Atmosféricas	0,71	0,54	0,68	0,64

- Taxa de Consistência

Autovalor	<b>3,10</b>
Índice Consistência	0,05
Taxa Consistência	8,34%

➤ **Subcritério Manutenção**

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas
Efluentes Líquidos	1	6	1/2
Resíduos Sólidos	1/6	1	1/6
Emissões Atmosféricas	2	6	1
Total	3,17	13,00	1,67

• Normalização e Cálculo Autovetor

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas	Autovetor
Efluentes Líquidos	0,32	0,46	0,30	0,36
Resíduos Sólidos	0,05	0,08	0,10	0,08
Emissões Atmosféricas	0,63	0,46	0,60	0,56

• Taxa de Consistência

Autovalor	<b>3,07</b>
Índice Consistência	0,04
Taxa Consistência	6,25%

➤ **Subcritério Influência no Custo de Produção**

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas
Efluentes Líquidos	1	1	2
Resíduos Sólidos	1	1	2
Emissões Atmosféricas	1/2	1/2	1
Total	2,50	2,50	5,00

• Normalização e Cálculo Autovetor

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas	Autovetor
Efluentes Líquidos	0,40	0,40	0,40	0,40
Resíduos Sólidos	0,40	0,40	0,40	0,40
Emissões Atmosféricas	0,20	0,20	0,20	0,20



- Taxa de Consistência

Autovalor	<b>3,00</b>
Índice Consistência	0,000
Taxa Consistência	0,00%

➤ **Subcritério Efeito na Reputação da Empresa**

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas
Efluentes Líquidos	1	1	½
Resíduos Sólidos	1	1	½
Emissões Atmosféricas	2	2	1
Total	4,00	4,00	2,00

- Normalização e Cálculo Autovetor

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas	Autovetor
Efluentes Líquidos	0,25	0,25	0,25	0,25
Resíduos Sólidos	0,25	0,25	0,25	0,25
Emissões Atmosféricas	0,50	0,50	0,50	0,50

- Taxa de Consistência

Autovalor	<b>3,00</b>
Índice Consistência	0,000
Taxa Consistência	0,00%

➤ **Subcritério Influência em Requisitos Legais**

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas
Efluentes Líquidos	1	1	1
Resíduos Sólidos	1	1	1
Emissões Atmosféricas	1	1	1
Total	3,00	3,00	3,00

- Normalização e Cálculo Autovetor

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas	Autovetor
Efluentes Líquidos	0,33	0,33	0,33	0,33
Resíduos Sólidos	0,33	0,33	0,33	0,33
Emissões Atmosféricas	0,33	0,33	0,33	0,33

- Taxa de Consistência

Autovalor	<b>3,00</b>
Índice Consistência	0,000
Taxa Consistência	0,00%

➤ **Subcritério Influência na Transparência da Empresa**

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas
Efluentes Líquidos	1	1	1
Resíduos Sólidos	1	1	½
Emissões Atmosféricas	1	2	1
Total	3,00	4,00	2,50

- Normalização e Cálculo Autovetor

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas	Autovetor
Efluentes Líquidos	0,33	0,25	0,40	0,33
Resíduos Sólidos	0,33	0,25	0,20	0,26
Emissões Atmosféricas	0,33	0,50	0,40	0,41

- Taxa de Consistência

Autovalor	<b>3,06</b>
Índice Consistência	0,03
Taxa Consistência	4,79%

➤ **Subcritério Efeito na Qualidade do Produto**

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas
Efluentes Líquidos	1	1	2
Resíduos Sólidos	1	1	2
Emissões Atmosféricas	1/2	1/2	1
Total	2,50	2,50	5,00

- Normalização e Cálculo Autovetor

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas	Autovetor
Efluentes Líquidos	0,40	0,40	0,40	0,40
Resíduos Sólidos	0,40	0,40	0,40	0,40
Emissões Atmosféricas	0,20	0,20	0,20	0,20

- Taxa de Consistência

Autovalor **3,00**

Índice Consistência	0,000
Taxa Consistência	0,00%

➤ **Subcritério Necessidade de Mudança de Processo**

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas
Efluentes Líquidos	1	1	2
Resíduos Sólidos	1	1	2
Emissões Atmosféricas	1/2	1/2	1
Total	2,50	2,50	5,00

- Normalização e Cálculo Autovetor

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas	Autovetor
Efluentes Líquidos	0,40	0,40	0,40	0,40
Resíduos Sólidos	0,40	0,40	0,40	0,40
Emissões Atmosféricas	0,20	0,20	0,20	0,20

- Taxa de Consistência

Autovalor **3,00**

Índice Consistência	0,000
Taxa Consistência	0,00%

➤ **Subcritério Efeito no Processo**

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas
Efluentes Líquidos	1	1	2
Resíduos Sólidos	1	1	2
Emissões Atmosféricas	1/2	1/2	1
Total	2,50	2,50	5,00

- Normalização e Cálculo Autovetor

	Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas	Autovetor
Efluentes Líquidos	0,40	0,40	0,40	0,40
Resíduos Sólidos	0,40	0,40	0,40	0,40
Emissões Atmosféricas	0,20	0,20	0,20	0,20

- Taxa de Consistência

Autovalor	<b>3,00</b>
Índice Consistência	0,000
Taxa Consistência	0,00%

**5ª etapa: Prioridade Final de cada índice**

Efluentes Líquidos	Resíduos Sólidos	Emissões Atmosféricas
0,32	0,27	0,41

## APÊNDICE C – Resultados MSP

- Indicadores de Desempenho Ambiental

Critérios	Peso	Indicadores de Efluentes Líquidos					
		Inorgânico		Orgânico		Esgoto Sanitário	
		N	PxN	N	PxN	N	PxN
Efeito na Saúde do Trabalhador	0,10	4	0,42	2	0,17	4	0,35
Efeito no Meio Ambiente	0,48	7	3,12	3	1,44	6	2,72
Efeito na Comunidade Local	0,21	6	1,19	2	0,42	4	0,77
Investimento para Tratamento	0,28	8	2,29	4	1,03	4	1,12
Manutenção	0,36	6	2,10	3	0,96	4	1,38
Influência no Custo de Produção	0,40	7	2,93	2	0,87	2	0,73
Efeito na Reputação da Empresa	0,25	7	1,71	3	0,75	5	1,33
Influência em Requisitos Legais	0,33	7	2,42	6	1,87	7	2,20
Influência na Transparência da Empresa	0,33	6	1,82	3	0,99	4	1,21
Efeito na Qualidade do Produto	0,40	7	2,93	2	0,93	3	1,00
Necessidade de Mudança de Processo	0,40	7	2,87	2	0,93	3	1,07
Efeito no Processo	0,40	7	2,67	2	0,80	3	1,00
<b>Total</b>		<b>52,50</b>	<b>26,46</b>		<b>11,16</b>		<b>14,88</b>
<b>Normalizado</b>		<b>1,00</b>	<b>0,50</b>		<b>0,21</b>		<b>0,28</b>

Critérios	Peso	Indicadores de Resíduos Sólidos					
		Industrial		RSG		Reciclado	
		N	PxN	N	PxN	N	PxN
Efeito na Saúde do Trabalhador	0,11	4	0,39	2	0,24	2	0,17
Efeito no Meio Ambiente	0,09	7	0,60	4	0,35	4	0,32
Efeito na Comunidade Local	0,13	4	0,46	3	0,35	1	0,15
Investimento para Tratamento	0,07	6	0,40	3	0,22	1	0,09
Manutenção	0,08	5	0,43	3	0,23	1	0,09

Critérios	Peso	Indicadores de Resíduos Sólidos					
		Industrial		RSG		Reciclado	
		N	PxN	N	PxN	N	PxN
Influência no Custo de Produção	0,40	4	1,67	4	1,47	2	0,60
Efeito na Reputação da Empresa	0,25	7	1,75	7	1,67	4	0,92
Influência em Requisitos Legais	0,33	7	2,42	7	2,42	5	1,54
Influência na Transparência da Empresa	0,26	5	1,30	5	1,17	3	0,82
Efeito na Qualidade do Produto	0,40	7	2,67	2	0,87	1	0,40
Necessidade de Mudança de Processo	0,40	7	2,80	3	1,00	1	0,47
Efeito no Processo	0,40	7	2,80	2	0,87	1	0,40
<b>Total</b>		<b>34,47</b>	<b>17,67</b>		<b>10,84</b>		<b>5,97</b>
<b>Normalizado</b>		<b>1,00</b>	<b>0,51</b>		<b>0,31</b>		<b>0,17</b>

Critérios	Peso	Indicadores de Emissões Atmosféricas			
		Fonte Estacionária		Emissões Fugitivas	
		N	PxN	N	PxN
Efeito na Saúde do Trabalhador	0,79	8	5,93	6	5,00
Efeito no Meio Ambiente	0,42	7	2,73	5	2,24
Efeito na Comunidade Local	0,66	8	4,95	6	4,07
Investimento para Tratamento	0,64	7	4,59	6	3,63
Manutenção	0,56	6	3,08	5	2,52
Influência no Custo de Produção	0,20	3	0,60	4	0,83
Efeito na Reputação da Empresa	0,50	9	4,25	7	3,67
Influência em Requisitos Legais	0,33	6	1,98	7	2,42
Influência na Transparência da Empresa	0,41	5	1,85	6	2,32
Efeito na Qualidade do Produto	0,20	7	1,37	4	0,83
Necessidade de Mudança de Processo	0,20	6	1,13	3	0,67
Efeito no Processo	0,20	5	1,07	3	0,57
<b>Total</b>		<b>62,28</b>	<b>33,51</b>		<b>28,77</b>
<b>Normalizado</b>		<b>1,00</b>	<b>0,54</b>		<b>0,46</b>

- Indicadores de Qualidade Ambiental

Critérios	Peso	Indicadores de Efluentes Líquidos															
		Óleos e Graxas		Materiais Sedimentáveis		DQO		DBO		RNFT		Amônia		Alumínio		Cloro	
		N	PxN	N	PxN	N	PxN	N	PxN	N	PxN	N	PxN	N	PxN	N	PxN
Efeito na Saúde do Trabalhador	0,10	5	0,47	2	0,20	2	0,23	1	0,12	1	0,12	6	0,57	4	0,35	2	0,17
Efeito no Meio Ambiente	0,48	9	4,32	6	2,96	7	3,12	4	1,76	6	2,64	9	4,16	9	4,32	4	1,68
Efeito na Comunidade Local	0,21	6	1,23	4	0,84	5	0,95	4	0,77	3	0,67	8	1,58	5	1,02	2	0,49
Investimento para Tratamento	0,28	3	0,79	6	1,77	4	0,98	2	0,47	6	1,68	8	2,33	5	1,45	4	1,21
Manutenção	0,36	4	1,32	3	1,02	3	1,20	2	0,54	3	0,96	4	1,44	3	0,96	8	2,82
Influência no Custo de Produção	0,40	2	0,60	7	2,60	4	1,40	2	0,60	7	2,80	8	3,13	7	2,67	4	1,47
Efeito na Reputação da Empresa	0,25	9	2,25	6	1,50	5	1,25	3	0,79	6	1,50	9	2,33	9	2,13	3	0,83
Influência em Requisitos Legais	0,33	9	2,97	7	2,15	7	2,26	3	1,05	6	1,98	10	3,14	9	2,97	3	1,10
Influência na Transparência da Empresa	0,33	5	1,76	4	1,38	5	1,54	4	1,27	5	1,49	9	3,03	9	3,03	4	1,21

Critérios	Peso	Indicadores de Efluentes Líquidos															
		Óleos e Graxas		Materiais Sedimentáveis		DQO		DBO		RNFT		Amônia		Alumínio		Cloro	
		N	PxN	N	PxN	N	PxN	N	PxN	N	PxN	N	PxN	N	PxN	N	PxN
<b>Efeito na Qualidade do Produto</b>	<b>0,40</b>	1	0,47	6	2,40	3	1,27	1	0,53	7	2,60	7	2,60	7	2,60	3	1,27
<b>Necessidade de Mudança de Processo</b>	<b>0,40</b>	2	0,87	6	2,53	4	1,60	2	0,93	7	2,73	8	3,13	8	3,13	4	1,67
<b>Efeito no Processo</b>	<b>0,40</b>	3	1,00	6	2,53	4	1,53	2	0,93	7	2,80	8	3,07	8	3,13	4	1,53
<b>Total</b>		<b>162,65</b>	18,04		21,88		17,32		9,76		21,96		30,50		27,75		15,45
<b>Normalizado</b>		<b>1,00</b>	0,11		0,13		0,11		0,06		0,14		0,19		0,17		0,09



## Indicadores de Resíduos Sólidos

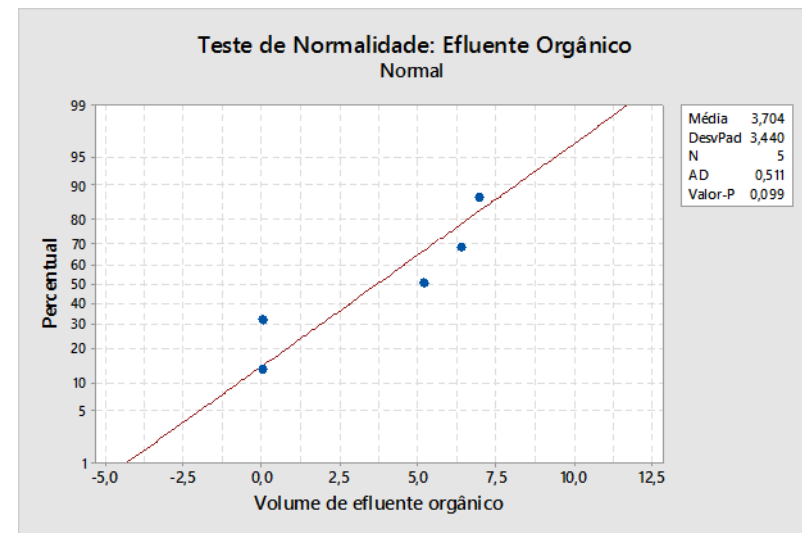
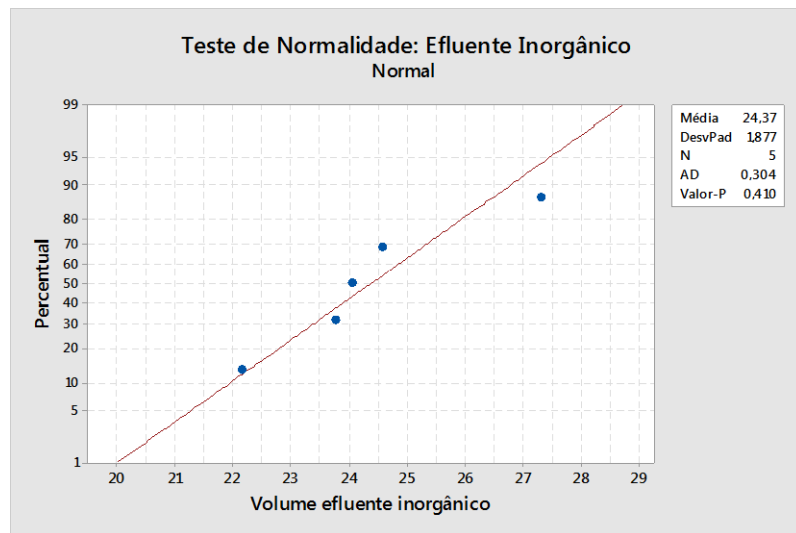
Critérios	Peso	Perigosos		Sucata Ferrosa		Sucata Madeira		Sucata Plástica		Orgânico Refeitório		Entulho Obra Civil	
		N	PxN	N	PxN	N	PxN	N	PxN	N	PxN	N	PxN
Efeito na Saúde do Trabalhador	<b>0,11</b>	9	1,03	2	0,17	2	0,17	2	0,17	2	0,24	1	0,15
Efeito no Meio Ambiente	<b>0,09</b>	10	0,87	4	0,33	2	0,17	4	0,39	3	0,24	3	0,23
Efeito na Comunidade Local	<b>0,13</b>	8	1,02	1	0,13	1	0,13	1	0,13	3	0,41	3	0,39
Investimento para Tratamento	<b>0,07</b>	6	0,42	2	0,13	1	0,09	1	0,09	3	0,18	1	0,09
Manutenção	<b>0,08</b>	3	0,25	2	0,17	2	0,16	2	0,13	2	0,19	1	0,09
Influência no Custo de Produção	<b>0,40</b>	4	1,60	3	1,00	2	0,67	2	0,87	4	1,40	3	1,20
Efeito na Reputação da Empresa	<b>0,25</b>	9	2,25	3	0,83	3	0,83	3	0,83	3	0,83	3	0,83
Influência em Requisitos Legais	<b>0,33</b>	9	2,92	5	1,76	5	1,76	5	1,76	5	1,60	5	1,76
Influência na Transparência da Empresa	<b>0,26</b>	9	2,38	6	1,47	6	1,47	6	1,47	6	1,47	6	1,47
Efeito na Qualidade do Produto	<b>0,40</b>	4	1,40	2	0,60	1	0,47	2	0,60	1	0,47	1	0,53
Necessidade de Mudança de Processo	<b>0,40</b>	3	1,13	2	0,87	1	0,53	2	0,67	1	0,47	1	0,53
Efeito no Processo	<b>0,40</b>	3	1,13	2	0,87	1	0,53	2	0,67	1	0,47	2	0,60
<b>Total</b>		<b>55,32</b>	16,40		8,33		6,98		7,78		7,95		7,88
<b>Normalizado</b>		<b>1,00</b>	0,30		0,15		0,13		0,14		0,14		0,14

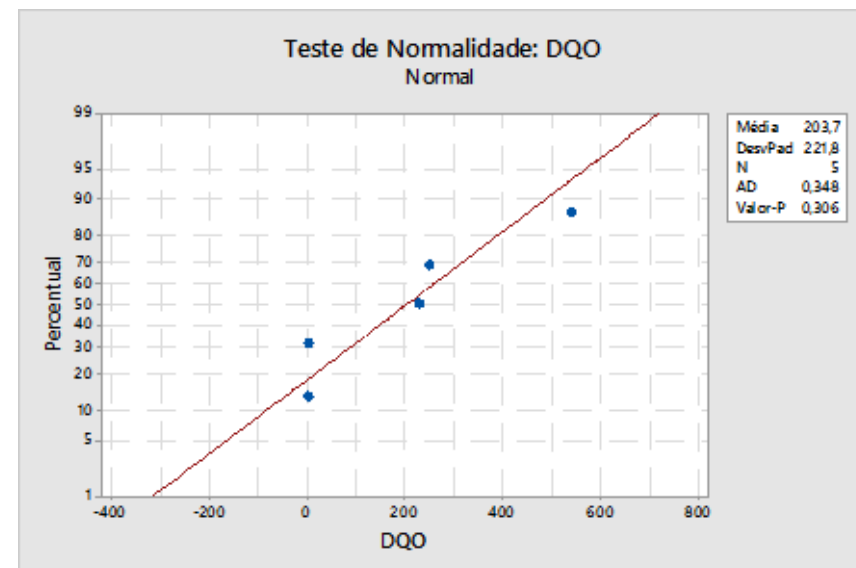
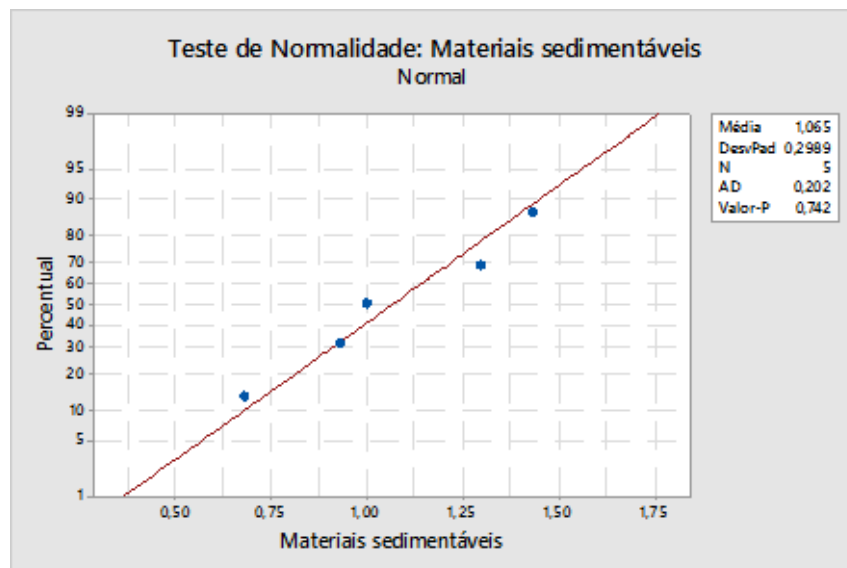
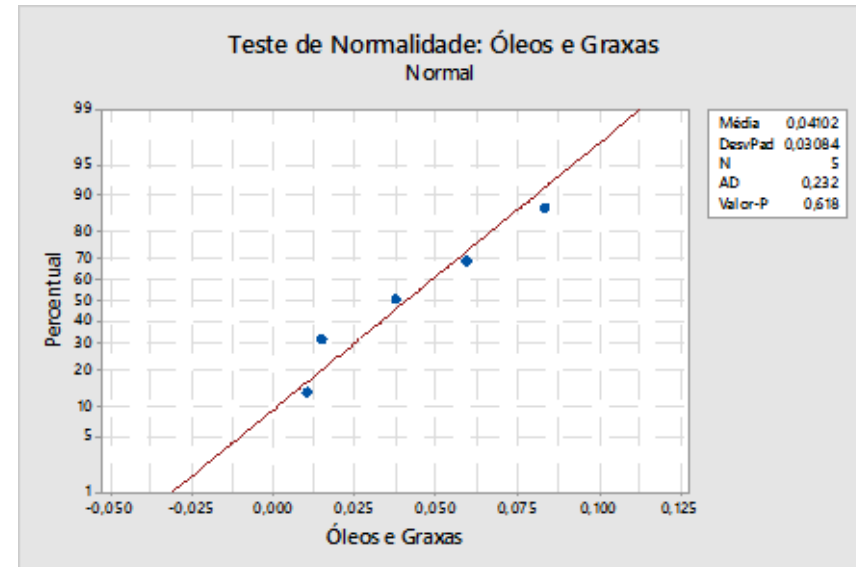
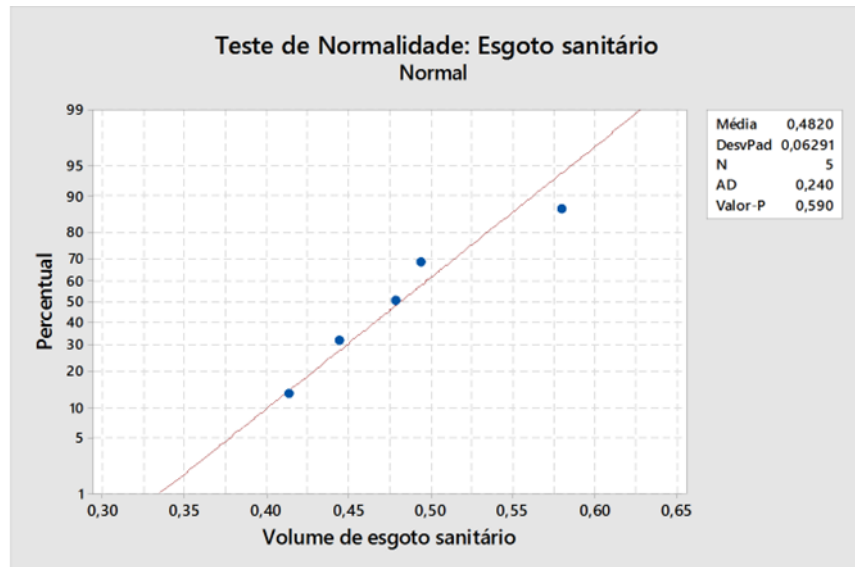
## Indicadores de Emissões Atmosféricas

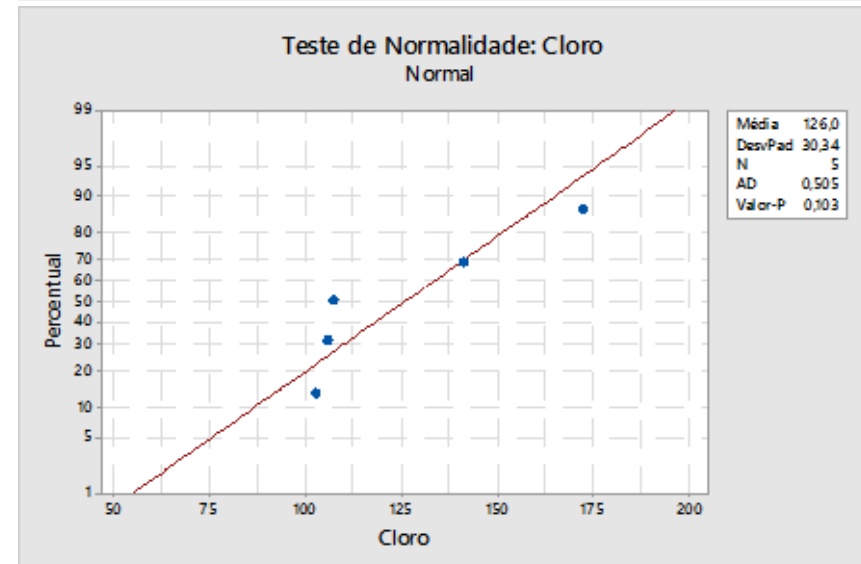
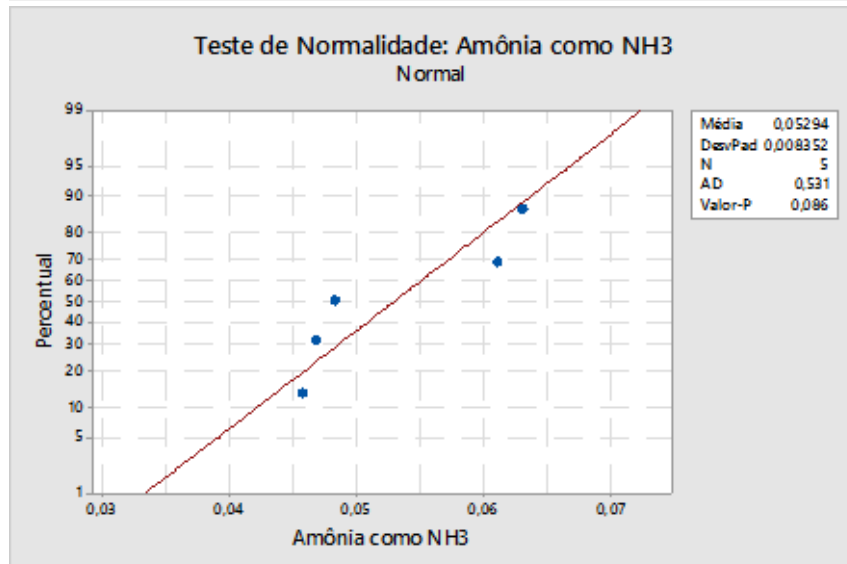
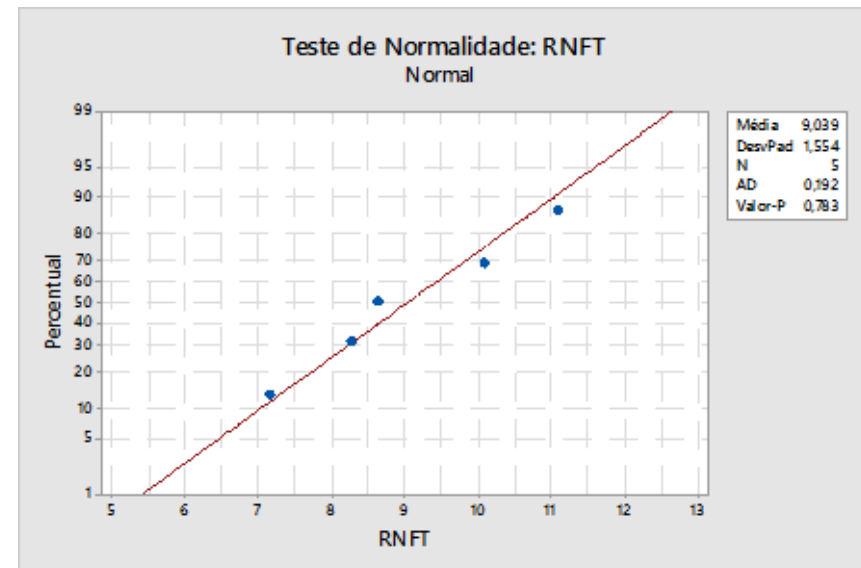
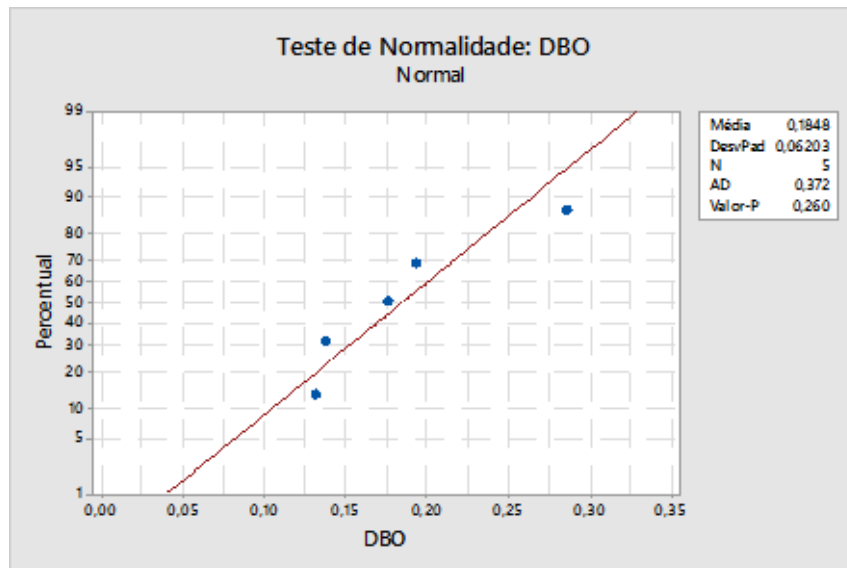
Critérios	Peso	Material particulado		NO <sub>x</sub>		SO <sub>x</sub>		Amônia	
		N	PxN	N	PxN	N	PxN	N	PxN
<b>Efeito na Saúde do Trabalhador</b>	<b>0,79</b>	9	6,72	9	6,85	8	6,06	10	7,77
<b>Efeito no Meio Ambiente</b>	<b>0,42</b>	8	3,15	8	3,36	8	3,43	9	3,64
<b>Efeito na Comunidade Local</b>	<b>0,66</b>	9	5,72	9	5,61	8	5,17	10	6,27
<b>Investimento para Tratamento</b>	<b>0,64</b>	9	5,55	9	5,97	9	5,55	10	6,08
<b>Manutenção</b>	<b>0,56</b>	9	4,76	9	4,76	7	4,11	9	4,76
<b>Influência no Custo de Produção</b>	<b>0,20</b>	7	1,40	7	1,40	6	1,13	7	1,40
<b>Efeito na Reputação da Empresa</b>	<b>0,50</b>	9	4,67	9	4,50	8	4,17	9	4,50
<b>Influência em Requisitos Legais</b>	<b>0,33</b>	9	3,08	9	2,97	8	2,75	9	2,97
<b>Influência na Transparência da Empresa</b>	<b>0,41</b>	9	3,76	9	3,76	9	3,55	9	3,62
<b>Efeito na Qualidade do Produto</b>	<b>0,20</b>	6	1,13	6	1,17	5	1,07	6	1,13
<b>Necessidade de Mudança de Processo</b>	<b>0,20</b>	8	1,60	8	1,67	7	1,47	8	1,60
<b>Efeito no Processo</b>	<b>0,20</b>	8	1,60	8	1,67	8	1,50	8	1,63
<b>Total</b>		<b>172,13</b>	43,13		43,68		39,95		45,38
<b>Normalizado</b>		<b>1,00</b>	0,25		0,25		0,23		0,26

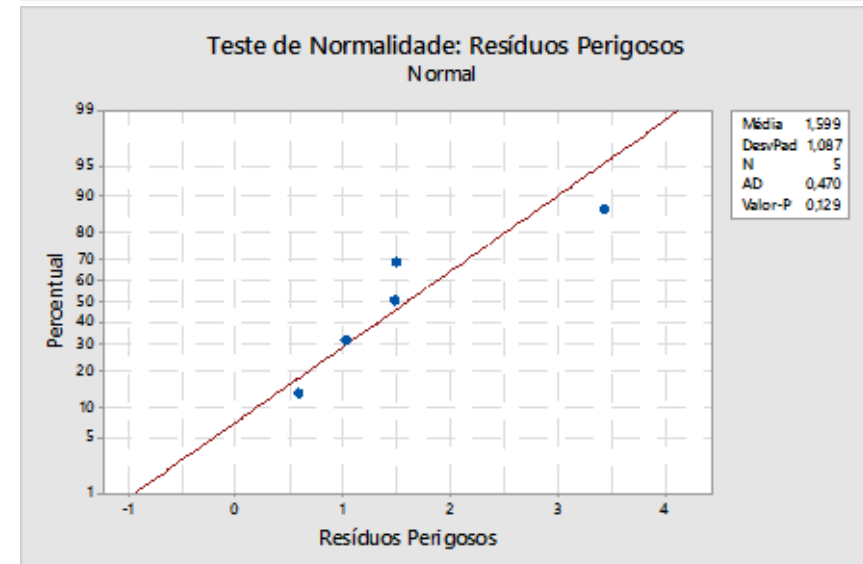
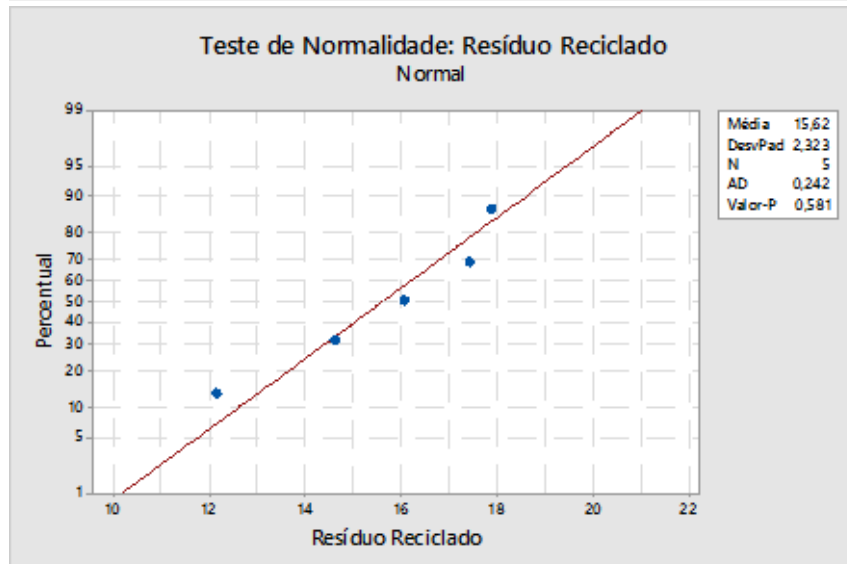
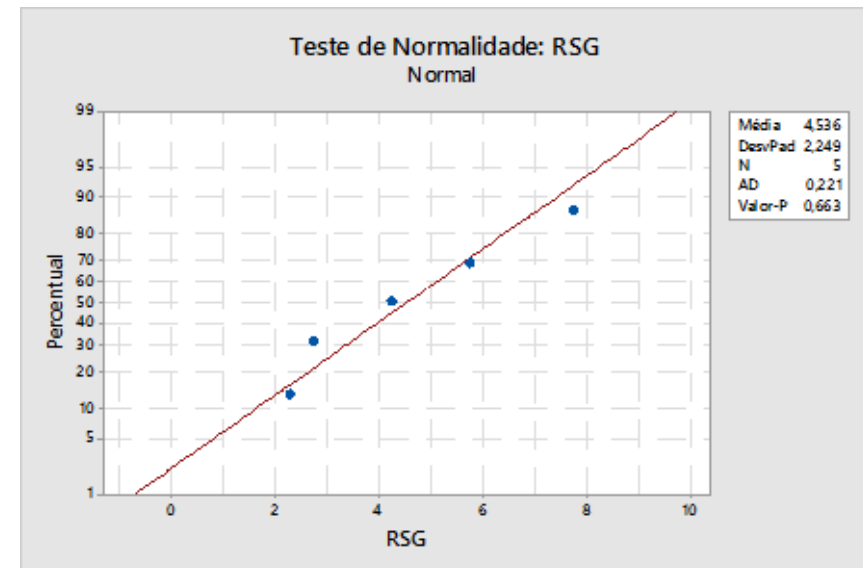
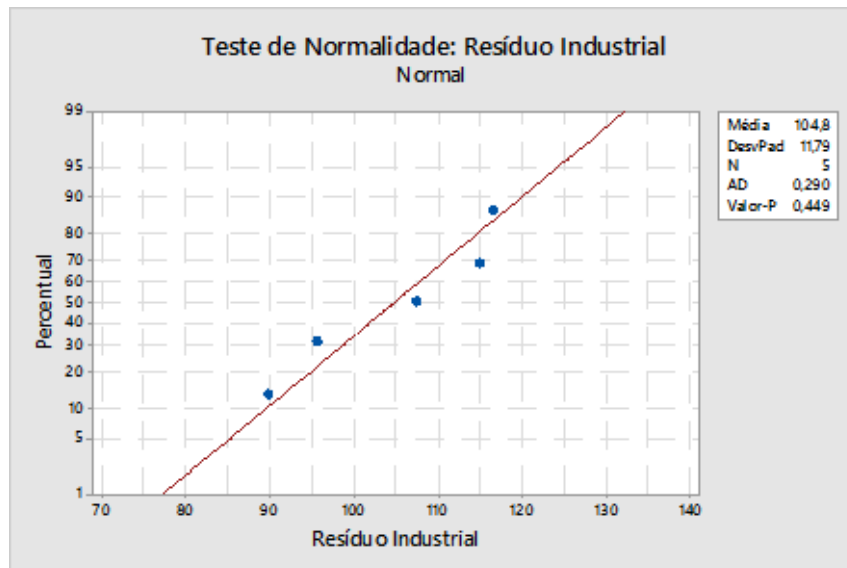
## APÊNDICE D – Análise estatística

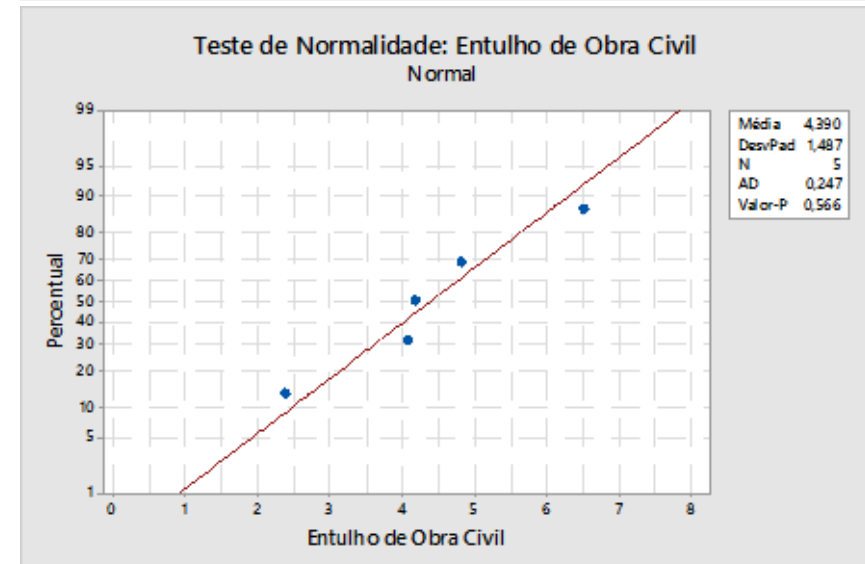
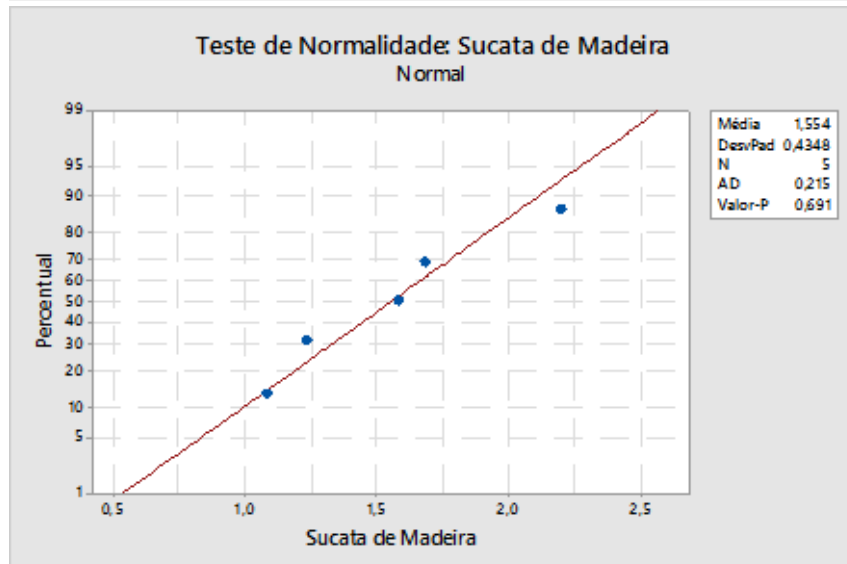
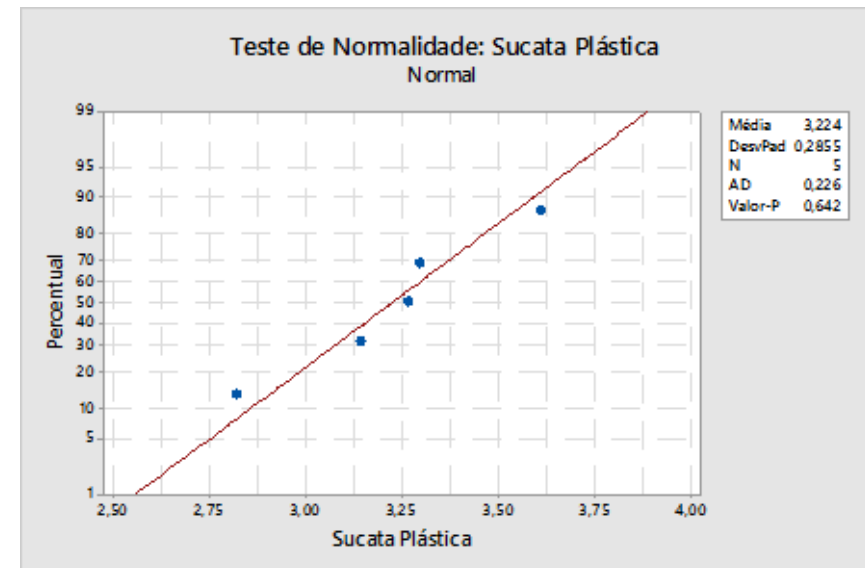
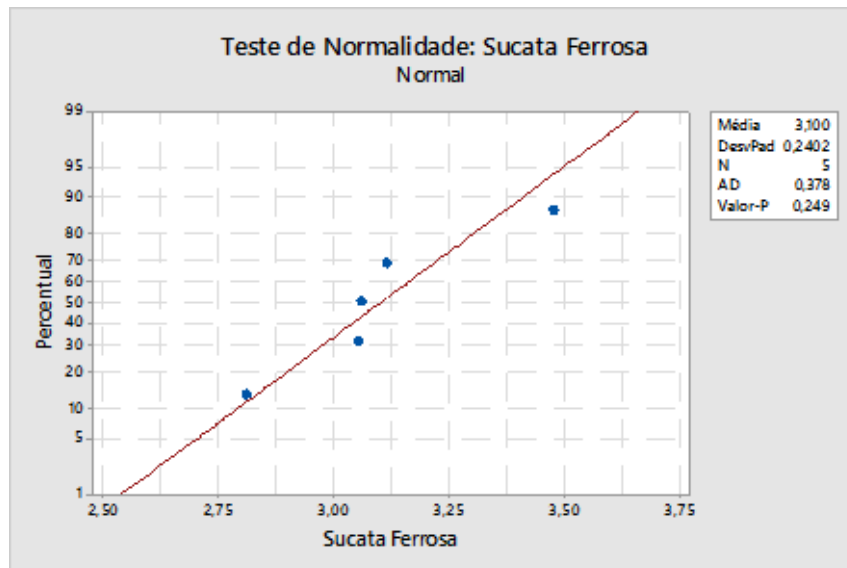
Os dados históricos dos indicadores foram analisados para verificar se estes seguiam uma distribuição normal. A análise de normalidade foi realizada no software Minitab por meio do teste de Anderson Darling. O teste tem como hipótese nula a normalidade dos dados, correspondente a um p-valor  $\geq 0,05$ . Já a hipótese alternativa considera a ausência de normalidade dos dados, no caso de p-valor  $< 0,05$ . Os gráficos a seguir apresentam a análise realizada.

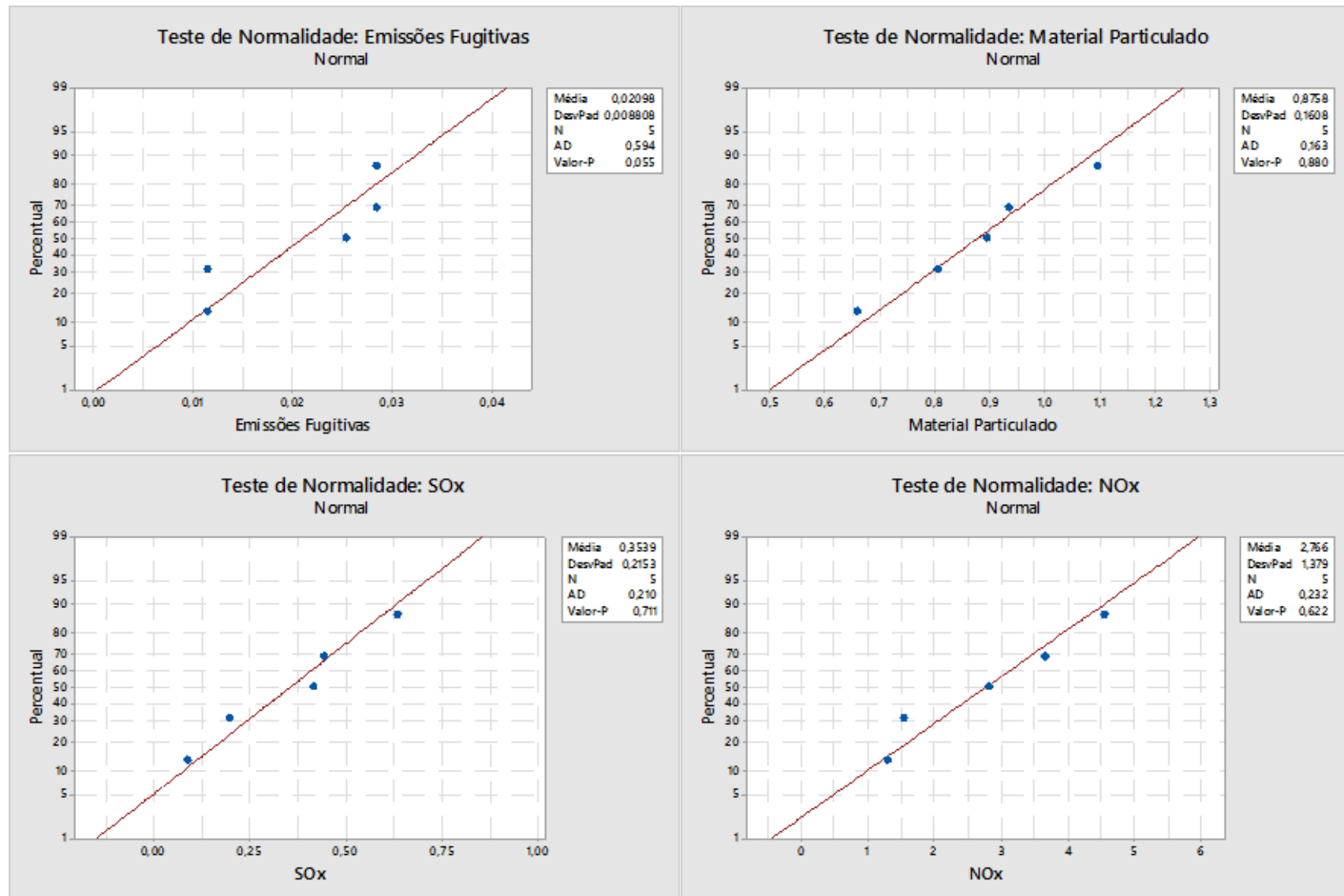




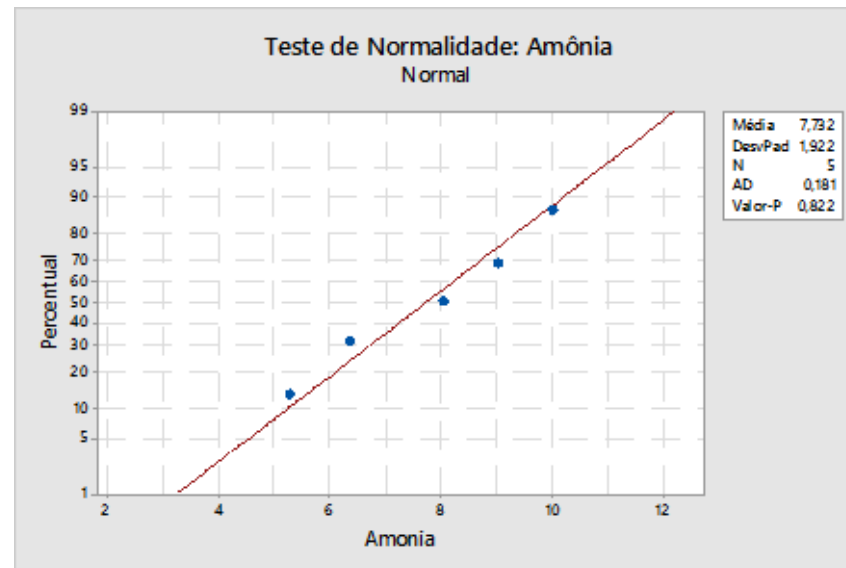




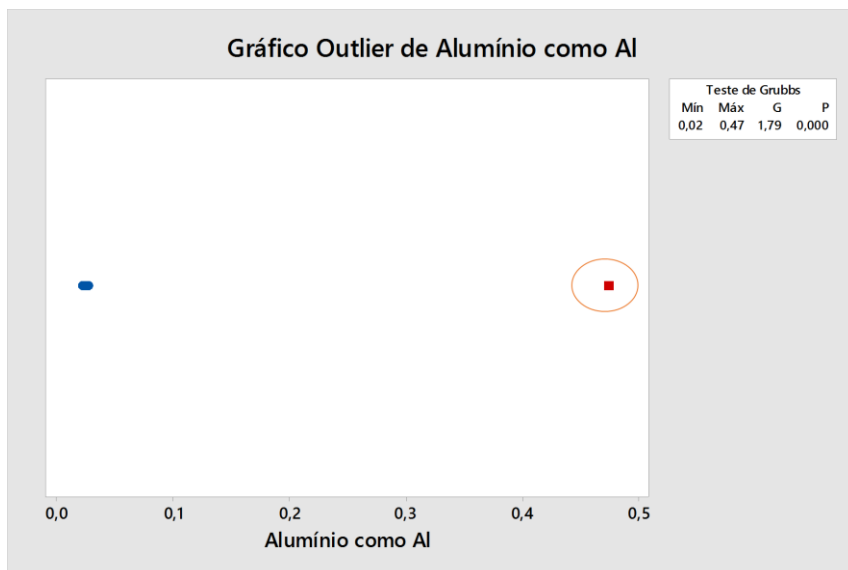
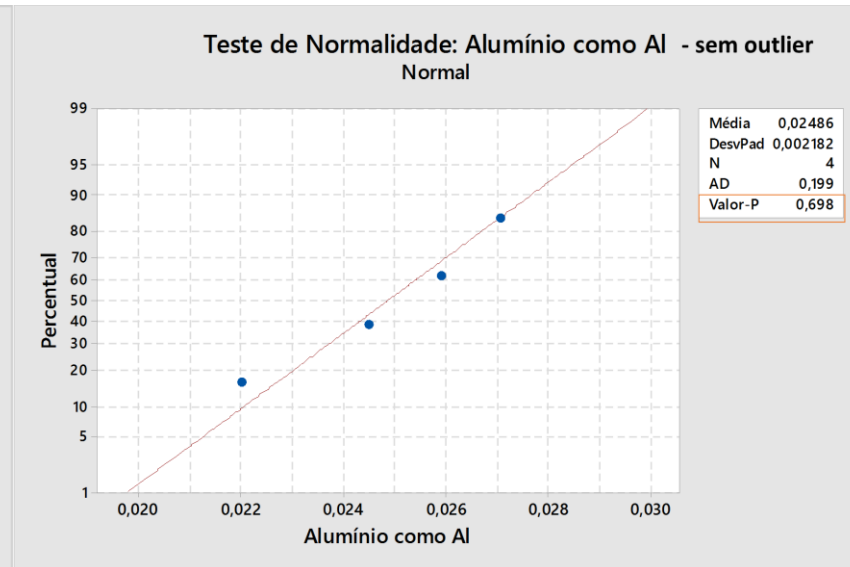
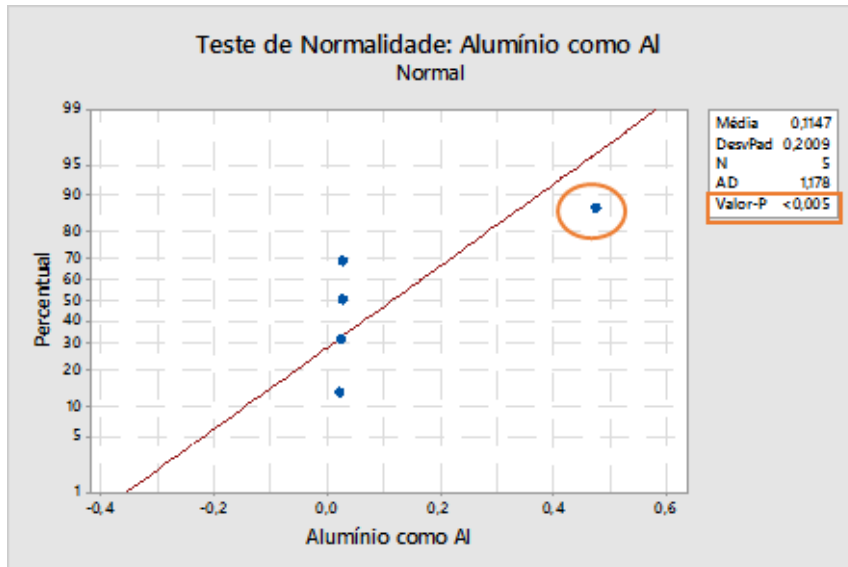








Durante a análise, três dos vinte e seis indicadores adotados apresentaram ausência de normalidade dos dados. No caso do indicador Alumínio e do Resíduo Orgânico de Refeitório, verificou-se a presença de um *outlier* que foi retirado da análise e com isso os dados apresentaram a normalidade desejada. Já o indicador Emissão de Fonte Estacionária, precisou fazer uma transformação Box-Cox para que seus dados apresentassem normalidade. Os gráficos a seguir apresentam a análise realizada.



### Teste de Outlier: Alumínio como Al

Método

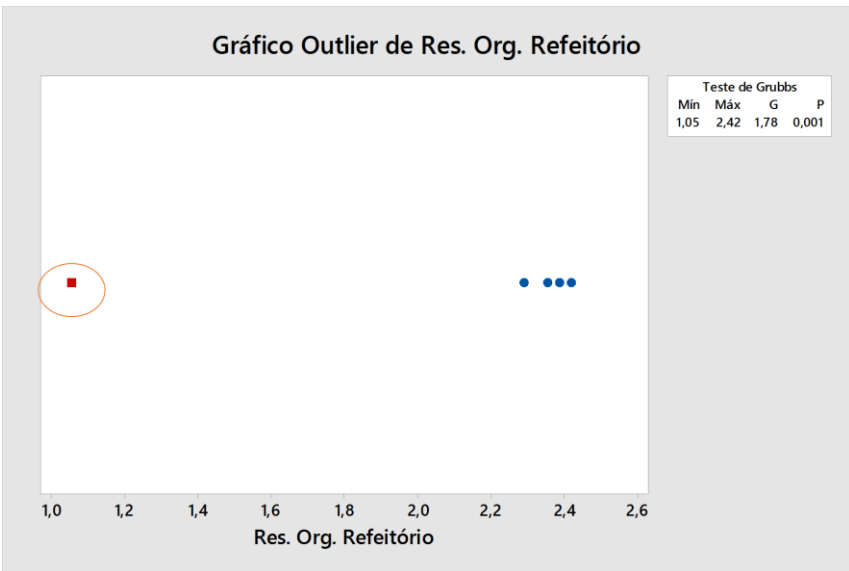
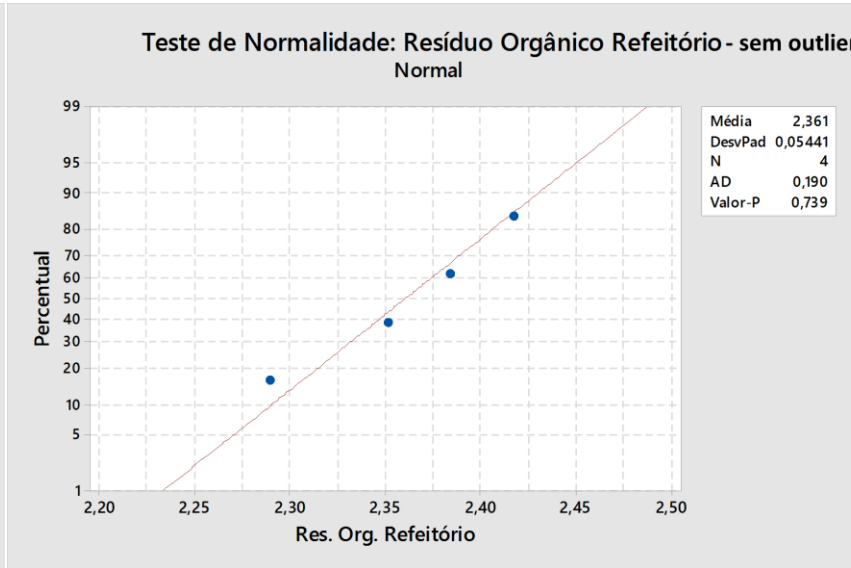
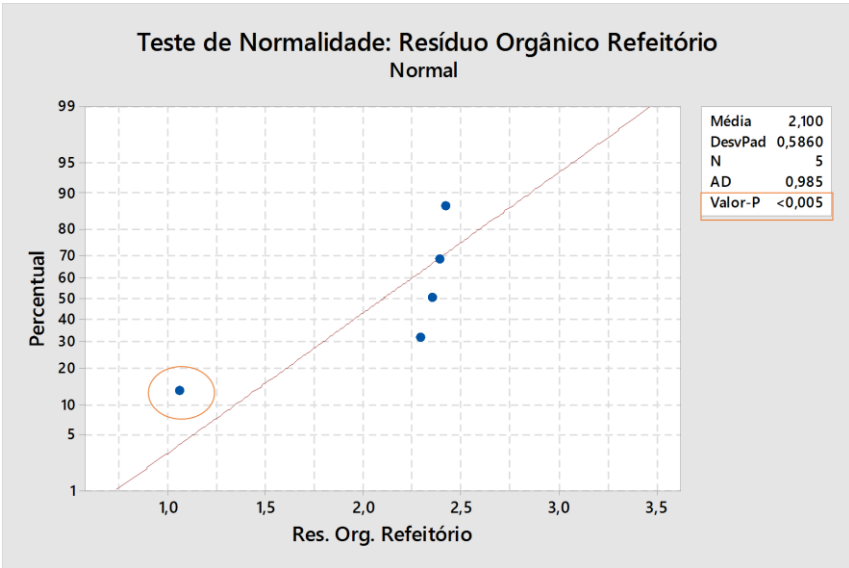
Hipótese nula Todos os valores de dados são provenientes da mesma população normal  
 Hipótese alternativa O menor ou o maior valor dos dados é um outlier  
 Nível de significância  $\alpha = 0,05$

Teste de Grubbs

Variável	N	Média	DesvPad	Min	Máx	G	P
Alumínio como Al	5	0,1147	0,2009	0,0220	0,4741	1,79	0,000

Outlier

Variável	Linha	Outlier
Alumínio como Al	5	0,474051



### Teste de Outlier: Res. Org. Refeitório

Método

Hipótese nula Todos os valores de dados são provenientes da mesma população normal  
 Hipótese alternativa O menor ou o maior valor dos dados é um outlier  
 Nível de significância  $\alpha = 0,05$

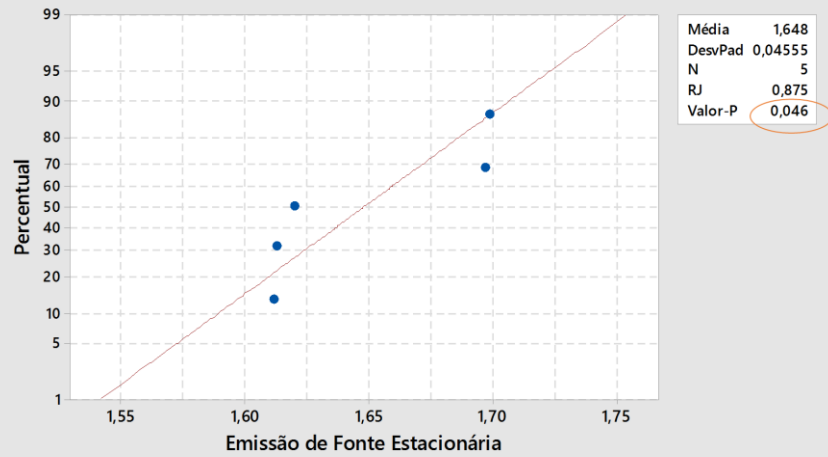
Teste de Grubbs

Variável	N	Média	DesvPad	Min	Máx	G	P
Res. Org. Refeitório	5	2,100	0,586	1,055	2,417	1,78	0,001

Outlier

Variável	Linha	Outlier
Res. Org. Refeitório	1	1,05461

Teste de Normalidade (Ryan-Joiner): Emissão de Fonte Estacionária Normal



Teste de Normalidade (Box-Cox, Ryan-Joiner): Emissão de Fonte Estacionária Normal

