

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
SANITÁRIA E AMBIENTAL

**ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE UM  
RESERVATÓRIO COMPONENTE DE UM  
COMPRESSOR DE AR**

Guilherme Marcelo Zanghelini

FLORIANÓPOLIS, (SC)  
JULHO/2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL

**ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE UM RESERVATÓRIO  
COMPONENTE DE UM COMPRESSOR DE AR**

Guilherme Marcelo Zanghelini

Trabalho submetido à Banca  
Examinadora como parte dos  
requisitos para Conclusão do Curso  
de Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental – TCC II

Orientador  
Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares

Co-Orientador  
Msc. Rodrigo Augusto Freitas de Alvarenga

FLORIANÓPOLIS, (SC)  
JULHO/2010

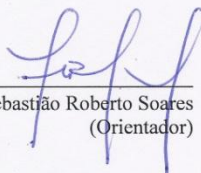
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE UM RESERVATÓRIO  
COMPONENTE DE UM COMPRESSOR DE AR**

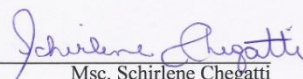
GUILHERME MARCELO ZANGHELINI

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos  
requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em  
Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II

BANCA EXAMINADORA:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Msc. Cristiane Maria de Léis  
(Membro da Banca)

  
\_\_\_\_\_  
Msc. Schirlene Chegatti  
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)  
JULHO/2010

Zanghelini, Guilherme Marcelo

Estudo sobre Análise de Ciclo de Vida de um reservatório de ar, componente de um compressor de ar.

Guilherme Marcelo Zanghelini – Florianópolis, 2010. 118f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Título em inglês: Life cycle analysis of an air reservoir, component of an air compressor.

1. Compressor de ar. 2. Processo produtivo. 3. Análise de Ciclo de Vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais Moacir e Regina por todo o amor e carinho incondicionais e por me ensinarem a retidão do caminho.

Ao Professor Sebastião pela orientação e incentivo inicial.

Ao colega Rodrigo por todo o auxílio, tempo e paciência a mim dedicados.

A Empresa Schulz S/A, em especial à Schirlene e à Tatiane, pela oportunidade de estágio e realização deste estudo. Ao Márcio e ao Ricardo pelo auxílio durante o período mais difícil.

Aos meus queridos irmãos, Felipe e Gabriela

Aos meus amigos de infância, que mesmo distantes sempre estavam presentes.

Aos colegas de graduação pelo companheirismo e por todos os desafios que enfrentamos juntos.

A minha Christiane por preencher meu coração.

## **RESUMO**

Na busca por aperfeiçoar as cadeias produtivas de seus produtos e torná-los ambientalmente menos impactantes, o setor industrial investe cada dia mais na Gestão Ambiental. A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia recente, que analisa todo o ciclo de vida de um produto (ou serviço), com relação à variável ambiental, para determinar medidas que busquem melhorá-lo. Este presente TCC abordou a ACV de um reservatório, componente de um compressor de ar produzido pela empresa Schulz S/A, localizada em Joinville, no nordeste de Santa Catarina. O principal objetivo foi a identificação das etapas que mais participam dos impactos nesta cadeia produtiva, e a elaboração de uma reflexão inicial, com o intuito de melhorar a produção, no sentido de diminuir estes impactos. O estudo ocorreu no decorrer do primeiro semestre de 2010. Os resultados foram que a obtenção da matéria-prima principal do processo produtivo, as chapas metálicas, é a etapa de maior participação em média do impacto ambiental sob as doze categorias de impacto analisadas.

## **ABSTRACT**

In the search for improve supply chains for their products and make them less environmentally impacting the industry invests increasingly in Environmental Management. The Life Cycle Analysis (LCA) is a recent methodology, which examines the entire life cycle of a product (or service), relationated to the environmental variable, to determine measures that seek to improve it. This study discussed the LCA of a reservoir, a component of an air compressor produced by the company Schulz S/A, located in Joinville, in the northeast of Santa Catarina. The main objective was to identify the steps of this production chain that causes more environmental impacts, and the preparation of an initial reflection, in order to improve productionto reduce these impacts. The study took place during the first half of 2010. The results were that the achievement of the main raw material of the production process, the metal plates, is the stage for greater participation in environmental impact middle under the twelve impact categories analyzed.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	5
RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE TABELAS.....	13
LISTA DE ABREVIATURAS.....	16
1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVOS.....	19
2.1. Objetivo geral.....	19
2.2. Objetivos específicos.....	19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1. Estrutura da Revisão Bibliográfica.....	20
3.2. Análise de Ciclo de Vida.....	21
3.2.1. Histórico.....	21
3.2.2. Definição.....	23
3.2.3. Noções Básicas de ACV.....	24
3.2.4. Normatização.....	27
3.2.5. Estrutura Metodológica.....	27
3.2.6. Categorias de Impactos.....	29
3.3. Compressores.....	31
3.3.1. Histórico.....	31
3.3.2. Classificação Geral.....	32
3.3.3. Principais Componentes de um Compressor.....	33
3.3.4. Outros Componentes.....	34
3.3.5. Funcionamento.....	36
3.3.6. Processos Produtivos.....	37
4. METODOLOGIA.....	40
4.1. Localização.....	41



4.2. Definições e Objetivos.....	41
4.3. Dados.....	42
4.4. Coleta de Dados.....	42
4.5. Tratamento dos Dados.....	43
4.6. Qualidade dos Dados.....	44
4.7. Análise em Laboratório.....	47
4.8. Interpretações.....	48
5. RESULTADOS.....	49
5.1. Objetivo do Estudo.....	49
5.2. Escopo do Estudo.....	49
5.2.1. Função do Sistema de Produto.....	50
5.2.2. Unidade Funcional.....	50
5.2.3. Limitação do Sistema.....	50
5.2.4. Processo Produtivo.....	52
5.3. Coleta de Dados.....	66
5.3.1. Produção.....	66
5.3.2. Refugio.....	66
5.3.3. Tratamento dos Dados.....	67
5.3.4. Não Coletados.....	71
5.3.5. Inventário de Ciclo de Vida.....	72
5.4. Análise de Impacto de Ciclo de Vida.....	90
5.4.1. Impactos Ambientais.....	90
5.4.2. Interpretações.....	96
5.4.3. Análise de Incertezas.....	108
5.4.4. Interpretação Geral.....	109
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	111
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
8. APÊNDICE.....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estágios do ciclo de vida de um produto. ....	23
Figura 2. Ciclo de vida de um produto.....	24
Figura 3. Etapas de uma ACV e suas relações.....	27
Figura 4. Componentes principais de um compressor alternativo de êmbolo .....	34
Figura 5. Outros componentes do compressor.....	35
Figura 6. Detalhe de uma unidade compressora .....	37
Figura 7. Interior de uma unidade compressora.....	37
Figura 8. Corte a Plasma.....	38
Figura 9. Chapa obtendo a forma cilíndrica através do processo de Calandragem. ....	38
Figura 10. Processo de Soldagem TIG.....	39
Figura 11. Montagem usual .....	39
Figura 12. Esquematização de Soldagem ao Arco Submerso .....	39
Figura 13. Equipamento empregado na soldagem por arco submerso..	39
Figura 14. Processo de Soldagem MIG/MAG .....	40
Figura 15. Equipamentos usuais para operação .....	40
Figura 16. Localização do Município de Joinville em destaque .....	41
Figura 17. Matriz Pedigree para tratamento das incertezas .....	45
Figura 18. Destaque para o componente reservatório de um compressor .....	51
Figura 19. Limitação do Sistema abordado neste TCC.....	52
Figura 20. Macro-processos do processo produtivo de um reservatório. ....	52
Figura 21. Processo elementar de descarregamento de chapas e suas entradas. ....	53
Figura 22. Processo elementar de estocagem, entradas e saídas. ....	53
Figura 23. Representação tridimensional do processo de corte a plasma. No primeiro momento a chapa metálica inteira (A). Em um segundo momento a chapa com o orifício após corte de plasma (B). ....	54
Figura 24. Processo elementar de corte a plasma, entradas e saídas.....	54
Figura 25. Representação tridimensional do comportamento da chapa durante o processo de calandragem. Em um primeiro momento, a chapa reta (A). Em um segundo, a chapa em formato cilíndrico após a calandragem (B).....	55
Figura 26. Processo elementar de calandragem, entradas e saídas. ....	55
Figura 27. Representação tridimensional do comportamento da chapa quando através do processo de solda longitudinal. No primeiro momento o corpo cilíndrico após calandragem (A). Em um segundo momento, o	

cilindro é soldado nas pontas e acrescido dos bacalhaus (B). E por último após a soldagem longitudinal e retirada dos bacalhaus que passam a serem sobras de chapa (C). .....	56
Figura 28. Processo unitário de soldagem longitudinal, entradas e saídas. ....	56
Figura 29. Representação tridimensional do comportamento da chapa destinada a conformação dos tampos no processo de corte de guilhotina. ....	57
Figura 30. Processo unitário de corte de guilhotina, entradas e saídas..	57
Figura 31. Representação tridimensional do comportamento da chapa metálica no processamento de corte circular.....	57
Figura 32. Processo de corte circular, fluxo de entradas e saídas. ....	58
Figura 33. Processo unitário de prensagem hidráulica dos tampos, suas entradas e suas saídas. ....	58
Figura 34. Representação tridimensional da chapa metálica que é prensada hidraulicamente.....	58
Figura 35. Processo de lavagem de tampos e seus fluxos elementares.	59
Figura 36. Fluxos elementares do processo de rebordo dos tampos. ....	59
Figura 37. Processo de montagem de tampo, suas entradas e saídas. ...	60
Figura 38. Esquema tridimensional da soldagem dos tampos ao corpo cilíndrico do reservatório. ....	60
Figura 39. Processo unitário de soldagem circunferencial e seus fluxos elementares.....	61
Figura 40. Desenho tridimensional do processo de soldagem das peças: pé, base e conexão.....	61
Figura 41. Fluxos elementares do processo de colocação dos componentes: pé, base e conexão do reservatório.....	62
Figura 42. Processo de teste hidrostático, suas entradas e saídas.....	62
Figura 43. Processo unitário de carga do reservatório. ....	63
Figura 44. Processo de jateamento de granalha.....	63
Figura 45. Processo unitário de limpeza do reservatório, entradas e saídas.....	64
Figura 46. Entradas e saídas do processo de pintura a pó da linha de produção de reservatórios da Schulz S/A.....	64
Figura 47. Representação tridimensional da pintura do reservatório. ...	64
Figura 48. Processo unitário de secagem do reservatório. ....	65
Figura 49. Unidade do processo Pré Descarga, suas entradas.....	65
Figura 50. Representação tridimensional do compressor após pré descarga.....	66

Figura 51. Divisão de impactos entre processos e produtos de um reservatório componente de um compressor de ar. ....	92
Figura 52. Gráfico detalhado com categorias de impactos entre processos e produtos. ....	93
Figura 53. Porcentagens de participações na categoria de impacto depleção abiótica dos produtos e processos. ....	96
Figura 54. Porcentagens de participação na categoria de impacto Acidificação dos produtos e processos. ....	97
Figura 55. Porcentagens de participação na categoria de impacto Eutrofização dos produtos e processos. ....	98
Figura 56. Porcentagens de participação na categoria de impacto Aquecimento Global dos produtos e processos. ....	99
Figura 57. Porcentagens de participação na categoria de impacto Depleção da Camada de Ozônio dos produtos e processos. ....	100
Figura 58. Porcentagens de participação na categoria de impacto Toxicidade Humana dos produtos e processos. ....	101
Figura 59. Porcentagem de participação na categoria de impacto Ecotoxicidade da Água Doce dos produtos e processos. ....	102
Figura 60. Porcentagem de participação na categoria de impacto Ecotoxicidade da Água Marinha dos produtos e processos. ....	103
Figura 61. Porcentagem de participação na categoria de impacto Ecotoxicidade Terrestre dos produtos e processos. ....	104
Figura 62. Porcentagem de participação na categoria de impacto Oxidação Fotoquímica dos produtos e processos. ....	105
Figura 63. Porcentagem de participação na categoria de impacto Demanda de Energia dos produtos e processos. ....	106
Figura 64. Porcentagem de participação na categoria de impacto Quantidade de Resíduo dos produtos e processos. ....	107
Figura 65. Variações dos valores coletados. ....	109

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Classificação Geral dos compressores.....	33
Tabela 2. Informações do Município de Joinville. ....	41
Tabela 3. Tabela que associada à Matriz Pedigree, delega valores para a fórmula da incerteza .....	46
Tabela 4. Tabela de fatores base para cálculo de incertezas .....	47
Tabela 5. Especificações técnicas do compressor CSL20BR/200L .....	50
Tabela 6. Componentes acrescentados ao reservatório no processo de pré-descarga. ....	65
Tabela 7. Produção e refugo do reservatório 789.....	67
Tabela 8. Coletas e médias.....	68
Tabela 9. Consumo de água (m <sup>3</sup> ) dos processos de produção do reservatório 789.....	69
Tabela 10. Geração de efluentes nos processos de produção do reservatório 789.....	69
Tabela 11. Consumos de produtos químicos e seus tratamentos estatísticos. ....	69
Tabela 12. Consumos de energia elétrica a uma voltagem de 380 Volts. ....	70
Tabela 13. Distâncias e transportes das principais matérias primas. ....	71
Tabela 14. Tabela de entradas geral para a fabricação de uma unidade funcional.....	73
Tabela 15. Tabela geral de saídas para a fabricação de uma unidade funcional.....	74
Tabela 16. Entradas de matérias primas (kg) do processo de fabricação de um reservatório (unidade funcional) pré-pintura. ....	75
Tabela 17. Saídas de resíduos do processo de fabricação (kg) do reservatório 789 pré-pintura. ....	75
Tabela 18. Entradas do processo unitário de descarregamento. ....	77
Tabela 19. Entradas do processo elementar de estocagem. ....	77
Tabela 20. Saídas do processo elementar de estocagem. ....	77
Tabela 21. Entradas no sistema do processo elementar de corte a plasma. ....	78
Tabela 22. Saídas do sistema do processo elementar conhecido como corte a plasma.....	78
Tabela 23. Entradas do processo de calandragem. ....	79
Tabela 24. Saídas do processo de calandragem.....	79
Tabela 25. Entradas do processo de Soldagem longitudinal. ....	79
Tabela 26. Saídas do processo de soldagem longitudinal. ....	80

Tabela 27. Entradas no sistema do processo elementar de corte de guilhotina. ....	80
Tabela 28. Entradas no Corte Circular. ....	81
Tabela 29. Saídas do processo de corte circular. ....	81
Tabela 30. Entradas do processo de prensagem hidráulica. ....	81
Tabela 31. Saídas da prensagem hidráulica. ....	81
Tabela 32. Entradas da Lavagem de tampos. ....	82
Tabela 33. Saídas do processo de lavagem de tampos. ....	82
Tabela 34. Entradas do processo de rebordo. ....	83
Tabela 35. Saídas do processo de rebordo. ....	84
Tabela 36. Entradas do processo de soldagem de tampos. ....	84
Tabela 37. Saídas do processo de colocação de montagem de tampo. .	84
Tabela 38. Entradas do processo de soldagem circunferencial. ....	85
Tabela 39. Saídas do processo de soldagem circunferencial. ....	85
Tabela 40. Entradas do processo de soldagem de componentes (pé, base e conexões). ....	86
Tabela 41. Saídas do processo de soldagem de componentes. ....	86
Tabela 42. Entradas do processo de teste hidrostático. ....	86
Tabela 43. Saídas do processo de teste hidrostático. ....	87
Tabela 44. Entradas do processo de carga do reservatório. ....	87
Tabela 45. Entradas do processo de jateamento de granalha. ....	87
Tabela 46. Saídas do processo de jateamento de granalha. ....	88
Tabela 47. Entradas do processo de limpeza do reservatório. ....	88
Tabela 48. Saídas do processo de limpeza do reservatório. ....	88
Tabela 49. Entradas do processo de pintura a pó. ....	88
Tabela 50. Saídas do processo elementar de pintura a pó. ....	89
Tabela 51. Entradas do processo de secagem. ....	89
Tabela 52. Saídas do processo de secagem. ....	89
Tabela 53. Entradas do processo de pré descarga. ....	90
Tabela 54. Contribuição para impactos dos produtos e dos processos de um reservatório componente de um compressor de ar. ....	91
Tabela 55. Participação percentual dos processos e dos produtos nas categorias de impactos de um reservatório componente de um compressor de ar. ....	91
Tabela 56. Participações dos processos e produtos para cada categoria de impacto. Esta tabela alimenta a figura 2. ....	94
Tabela 57. Participação dos principais processos e produtos no montante do impacto ambiental sob aspecto de acidificação. ....	98
Tabela 58. Participação do impacto. Aspecto: depleção da camada de ozônio. ....	100

Tabela 59. Porcentagem de participação das etapas sob o aspecto de toxicidade humana.....	101
Tabela 60. Participação no impacto sob aspecto de ecotoxicidade marinha.....	103
Tabela 61. Participações sob o aspecto de oxidação fotoquímica. ....	105
Tabela 62. Categoria de quantidade gerada de resíduos. Participação dos processos no impacto final. ....	107
Tabela 63. Resultado da análise de incertezas pelo programa Simapro. ....	108
Tabela 64. Participação média dos processos/produtos da fabricação do reservatório 789.....	110

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT.....	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV.....	Análise de Ciclo de Vida
AICV.....	Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida
CETESB.....	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
EPI.....	Equipamento de Proteção Individual
GPACV.....	Grupo de Pesquisa e Avaliação de Ciclo de Vida
GWP.....	Global Warming Potencial
ICV.....	Inventário de Ciclo de Vida
ISO.....	International Standardization Organization
MAG.....	Metal Active Gás
MIG.....	Metal Inert Gás
MRI.....	Midwest Research Institute
SAIC.....	Scientific Applications International Corporation
SETAC.....	Society Environmental Toxicology and Chemistry
TCC.....	Trabalho de Conclusão de Curso
TIG.....	Tungsten Inert Gás
TR.....	Technical Report
TS.....	Technical Specification
UNEP.....	United Nations Environment Programme
USEPA.....	United States Environmental Protection Agency



## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico no último século atrelado ao crescimento populacional desenfreado e ao estilo de vida consumista imposto pela sociedade clama às indústrias a necessidade de produzir cada vez mais bens de consumo. Soma-se a este cenário, o fato de que *“todo o produto, não importa de que material seja feito, provoca um impacto no meio ambiente, seja em função do seu processo produtivo, das matérias primas que consome, ou devido ao seu uso e disposição final”*. (CHEHEBE, 2002, p. 9.).

O resultado disto é o aumento das ameaças globais com relação ao meio ambiente como por exemplo o aquecimento global. Problemas ambientais em escala holística há muito já podem ser identificados, influenciando a qualidade de vida dos seres humanos.

Como reflexo desta ameaça, o pensamento de desenvolvimento sustentável, que diz respeito à conscientização da sociedade sobre a necessidade da preservação ambiental para as gerações futuras vem ganhando cada vez mais adeptos. Já não se discute mais se as indústrias devem se moldar ao desenvolvimento sustentável, mas sim, de que forma deverão mudar.

Esta necessidade de buscar um equilíbrio entre produção, consumo e o meio em que vivemos ocasionou discussões entre os diversos países do globo.

As principais questões discutidas levaram à criação de leis em diversas esferas, focadas basicamente no controle do consumo de recursos naturais, da geração de resíduos e do crescimento populacional.

O setor industrial e a sociedade estão tendo que se adequar às exigências vigentes e repensar seus hábitos de produção e consumo.

É neste contexto que surge a Análise de Ciclo de Vida (ACV), uma importante metodologia que permite uma avaliação qualitativa e quantitativa dos impactos ambientais provocados durante os processos de produção de um bem de consumo. Além disto, pode abordar os demais estágios da vida deste produto, como por exemplo, na obtenção de matérias-primas elementares, na produção de energia necessária para suprir o sistema de produto, ou ainda, na disposição final deste produto (CHEHEBE, 2002).

A ACV oferece aos interessados, informações importantes no apoio à tomada de decisões para uma atuação ambiental responsável.

A sua estrutura metodológica consiste basicamente em empregar quatro fases fundamentais: definição do objetivo e escopo; análise de inventário; avaliação de impactos e interpretação.

O uso do ar comprimido como ferramenta nos remete à pré-história, quando o homem antigo utilizava-o para avivar o fogo. Já o compressor de ar moderno é um equipamento mecânico com utilização bastante diversificada, empregado desde o setor industrial até o uso domiciliar.

Da Costa (1978, p. 1) define o compressor de ar como uma estrutura mecânica industrial destinada, essencialmente a elevar a energia utilizável dos fluidos elásticos, pelo aumento de sua pressão. Possui diversos usos, empregado com frequência no setor industrial.

Este estudo apresenta uma ACV de um dos principais componentes de um compressor de ar, o reservatório de ar comprimido, e contou com o auxílio da Empresa Schulz S/A localizada no município de Joinville, ao nordeste de Santa Catarina. Esta Fábrica produz desde compressores alternativos de pistão a compressores de parafuso de 5hp a 250hp que atendem o mercado nacional e internacional.

Buscou-se, através da ACV, identificar os pontos na cadeia produtiva deste componente, geradores de maior impacto ambiental, a fim de oferecer informações para possibilitar ajustes de uma forma geral. Futuramente, compreenderá um estudo comparativo dentre três compressores fabricados por esta empresa.

A primeira etapa deste estudo é a definição de objetivo e escopo do estudo. Esta é a fase de determinações e adoções preliminares das quais o estudo deverá obedecer e se escorar. A segunda etapa, chamada de Inventário de Ciclo de Vida (ICV), é um minucioso levantamento de dados da cadeia de produção deste reservatório, levando em consideração as variáveis de maior importância. A quantificação de entradas e saídas permite um melhor entendimento de todo o processo. A terceira etapa é um processo qualitativo e quantitativo de entendimento e avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais baseado nos resultados obtidos na segunda etapa deste estudo. Esta é a Análise dos Impactos do Ciclo de Vida propriamente dita. A última etapa é a interpretação de todos os dados obtidos. Aqui, conclusões e recomendações são apresentadas aos tomadores de decisões.

Por se tratar de um estudo complexo, cada etapa de uma ACV deve ser minuciosamente investigada e estabelecida, antes e durante sua realização. Garante-se, assim, que a interpretação final do trabalho reflita coerentemente o sistema em questão e seus impactos associados.

A expectativa foi identificar as etapas da cadeia produtiva de maior participação do montante final dos impactos. Se possível, elaborar

recomendações e melhorar o processo produtivo de compressores em âmbito ambiental ou até mesmo o próprio produto. Eventualmente, estas alterações poderão gerar uma produção mais eficiente e economicamente mais viável, evitando desperdícios.

A importância deste estudo reside na necessidade de uma revisão no atual estilo de produção e consumo. As indústrias deverão procurar uma produção ambientalmente sustentável, refletindo na sociedade e no meio ambiente de um modo geral que sofrerão menor impacto, conforme parágrafo 6 desta introdução.

A finalidade deste TCC é identificar as principais fontes de impacto de ciclo de vida do processo produtivo de um reservatório de um compressor, para que os tomadores de decisão tenham embasamento técnico e científico para propor melhorias a fim de diminuir as fontes de impacto ambiental de sua produção.

Oferecendo informações para diminuição dos impactos gerados (ou seja, atingindo o objetivo descrito acima), mediante quaisquer variáveis ambientais, a importância deste estudo, na área ambiental estará justificada.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

O objetivo principal deste Trabalho de Conclusão de Curso é realizar uma Análise de Ciclo de Vida de um componente constituinte de um compressor de ar, o reservatório de ar comprimido fabricado pela empresa Schulz S/A.

### **2.2. Objetivos específicos**

#### *Inventário de Ciclo de Vida*

Realizar um levantamento de entradas e saídas do sistema produtivo do bem de consumo em questão. Esta etapa envolve todos os procedimentos de cálculo para quantificar estas informações para posterior Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV).

A NBR ISO 14040 define um ICV como um processo iterativo. À medida que o cenário de coleta de dados se amplia, novos requisitos ou limitações dos dados podem ser identificados, requerendo mudança nos procedimentos de coleta de dados, de modo que os objetivos traçados inicialmente neste trabalho ainda possam ser satisfeitos. (ABNT, 2009a).

O levantamento de informações dependerá da pesquisa de campo (linha de produção), bem como da coleta de dados da empresa através do setor de processo de produção.

### *Identificação de Pontos Fortes e Fracos do Sistema Produtivo*

Através do ICV, identificar os principais aspectos ambientais envolvidos na cadeia produtiva do reservatório do compressor e com a Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV), identificar as etapas do processo que mais participam do montante final do impacto ambiental.

### *Possíveis Melhorias e Considerações*

Busca-se, através da ACV deste produto, realizar uma reflexão inicial, priorizando os pontos fracos, e sugerir possíveis melhorias no processo produtivo (no sentido de diminuir os impactos).

### *Contribuir Para Um Estudo Futuro*

Disponibilizar informações para um estudo comparativo futuro e contribuir para a base de dados de estudos de ACV do Brasil.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1. Estrutura da Revisão Bibliográfica**

A revisão da bibliografia deste presente trabalho foi dividida em dois grupos: a Análise de Ciclo de Vida, que será abordada no capítulo 3.2, e os Compressores, abordado no capítulo 3.3.

Seguindo a ordem física desta revisão, o item 3.2.1 apresenta um breve histórico de sua utilização, bem como sua importância na atualidade.

O item 3.2.2 define ACV e o item 3.2.3 trata das noções básicas de um ACV e introduz definições básicas para o entendimento desta ferramenta. De uma forma geral, apresenta informações sobre a ACV consideradas relevantes para este trabalho.

As normas que regulamentam e controlam um estudo de ACV estão apresentadas no item 3.2.4.

No item 3.2.5 reside a estrutura metodológica de um ACV. Amparado pelas normas e outros instrumentos auxiliares, esta estrutura é apresentada em subitens, tais quais: definição de objetivo e escopo de um ACV; a Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV); a Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV); e a interpretação desta ferramenta.

O segundo grupo (3.3 Compressores) contempla inicialmente uma introdução deste tema, a fim de inserir esta máquina industrializada no estudo que se realiza.

Tal qual a estrutura de apresentação de ACV descrita acima, o item 3.3.1 contempla um breve histórico do surgimento dos compressores até os usos atuais. No 3.3.2 é apresentada uma classificação geral dos compressores, atentando às suas principais diferenças.

O item 3.3.3 apresenta o compressor escolhido para esta ACV. Tratar-se-á de um compressor alternativo de êmbolo. Então, para melhor entendê-lo, este capítulo apresentará os Outros Componentes, que são as principais peças constituintes deste aparelho, enquanto que 3.3.5 descreve o seu funcionamento.

O 3.3.6 apresentará os principais processos de sua produção, pois é de suma importância avaliar e compreender a sua cadeia produtiva.

### **3.2. Análise de Ciclo de Vida**

Com o reflexo das atividades humanas no meio ambiente, seja por sua degradação atual, seja pela crescente exploração dos recursos naturais, ou ainda pelo surgimento de fenômenos ambientais antes inexistentes e que afetam o ser humano, aos poucos, a questão ambiental é inserida no cotidiano da sociedade. É possível notar esta mudança, nas inúmeras legislações e normas voltadas para proteger o meio ambiente, que são cada vez mais exigentes.

No campo industrial este novo cenário obrigou o setor a buscar novas soluções para melhor controle de seus processos, com o objetivo de evitar e/ou diminuir a degradação ambiental para melhor atender a demanda do mercado. A partir deste ponto, desenvolveram-se métodos para preencher esta lacuna. Dentro do Sistema de Gestão Ambiental, uma destas metodologias é a ACV.

De forma a contextualizar este trabalho, as generalidades sobre a ACV são apresentadas no presente capítulo que aborda um breve histórico de seu surgimento, noções básicas e conceitos, normatização e a sua estrutura metodológica.

#### *3.2.1. Histórico*

Conforme Chehebe (2002), *“os primeiros estudos envolvendo ainda uma forma embrionária do que hoje chamamos de Análise de Ciclo de Vida de Produtos tiveram início durante a primeira crise do petróleo”*.

Gutierrez (2008) complementa que *“os estudos sobre a ACV passaram a ganhar consistência na primeira crise do petróleo, na década de 70, quando se descobriu que tal recurso era uma fonte esgotável. Nesse momento, o que se constatou foi a intensificação da busca de formas alternativas de energia e o aperfeiçoamento dos processos com a finalidade de otimizar o uso dos recursos naturais.”*

De acordo com Chehebe (2002), com o súbito surgimento desta crise, o que ocorreu foi uma busca frenética por formas alternativas de obtenção de energia o que despertou a sociedade para a necessidade de melhor utilização de recursos naturais. Nessa época vários estudos

iniciaram-se, buscando avaliar os processos de produção e racionalizar o consumo de fontes energéticas esgotáveis.

No calor da discussão sobre a política de reciclagem das empresas, principalmente com relação às embalagens “one way” versus embalagens retornáveis, a maioria dos estudos desenvolvidos nesta época abordava os materiais utilizados para embalar os bens de consumo (SOUSA, 2008).

Como explica Chehebe (2002), no ano de 1965, a companhia americana de bebidas Coca-Cola Company teria custeado um estudo para comparar diferentes tipos de suas embalagens, a fim de identificar o recipiente mais adequado do ponto de vista ambiental. Realizado pelo *Midwest Research Institute* (MRI), o processo de quantificação da utilização dos recursos naturais e dos índices de emissão para o meio ambiente, este estudo foi chamado de *Resource and Environmental Profile Analysis*<sup>1</sup> (REPA).

Considerado um marco para o surgimento do conceito “Life Cycle Assessment” no ano de 1974, explica Chehebe (2002 p3) a mando da United States Environmental Protection Agency<sup>2</sup> (USEPA), houve um aprimoramento do modelo REPA servindo de base para o estabelecimento de um procedimento de comparação dos impactos ambientais gerados por estes produtos. Na seqüência, no Continente Europeu, desenvolveu um procedimento similar denominado Ecobalance.

Posteriormente, diferentes métodos foram aplicados aos mesmos produtos, entretanto, os resultados nem sempre eram coincidentes, o que minou a confiabilidade desta ferramenta. As principais diferenças eram referentes às necessidades energéticas, emissões de uma forma geral e geração de resíduos sólidos. “Esta época é referenciada por alguns autores como a fase de guerra dos ACV’s” (CHEHEBE, 2002).

Sousa (2008) coloca que com esta necessidade de organizar uma metodologia e critérios para ACV, surgiram novos órgãos. Destaca-se a *Society for Environmental Toxicology and Chemistry*<sup>3</sup> (SETAC) criado em 1979 nos EUA. Da mesma forma, baseado principalmente em publicações da SETAC, a *International Standardization Organization* (ISO) iniciou no ano de 1993 a elaboração das normas para a gestão ambiental de aceitação internacional. Como resultado deste trabalho, foi

---

<sup>1</sup> *Análise do perfil dos recursos e meio ambiente em inglês.*

<sup>2</sup> *Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos.*

<sup>3</sup> *Sociedade de Química e Toxicologia Ambiental, em inglês.*

publicado a série de normas ISO 14000, da qual fazem parte os requisitos da ACV (série ISO 14040).

Mais recentemente, em 2000, uma parceria entre a SETAC e a *United Nations Environment Programme* (UNEP) foi estabelecida, originando o *Life-Cycle Initiative*, que visa desenvolver e disseminar ferramentas práticas para avaliar o ciclo de vida de sistemas de produtos. (SOUSA, 2008).

### 3.2.2. Definição

“A *Análise de Ciclo de Vida* (ACV) é a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos potenciais impactos ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” (FERREIRA, 2004).

O termo “ciclo de vida” refere-se à maioria das atividades no decurso da vida do produto desde a sua fabricação, utilização, manutenção, e deposição final; incluindo aquisição de matéria-prima necessária para a fabricação do produto. A Figura 1 ilustra os possíveis estágios de ciclo de vida que podem ser considerados numa ACV e as típicas entradas/saídas medidas (USEPA, 2006).

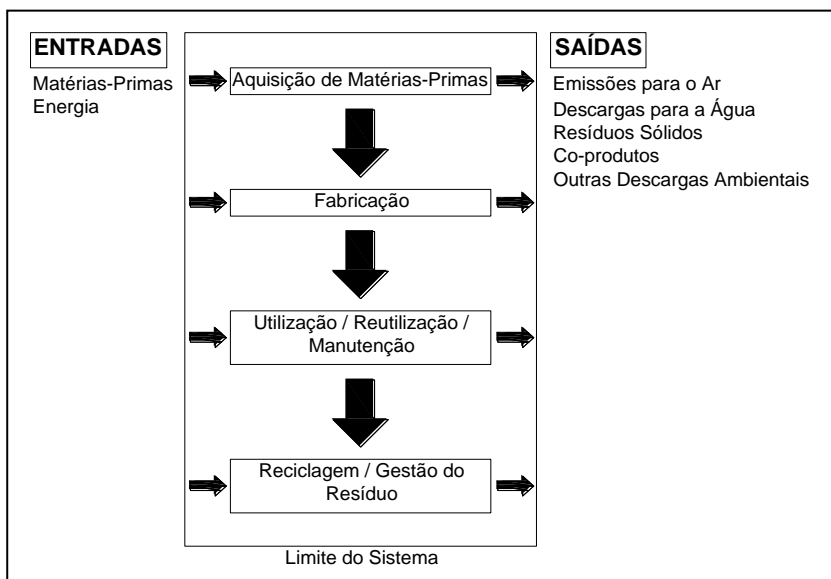


Figura 1. Estágios do ciclo de vida de um produto. Fonte USEPA, 2006.

Outro exemplo de ciclo de vida está ilustrado na Figura 2, contemplando as etapas que podem ser incluídas em um estudo. Cabe ainda destacar etapas como a reciclagem e o reuso dentro de um ciclo de vida.

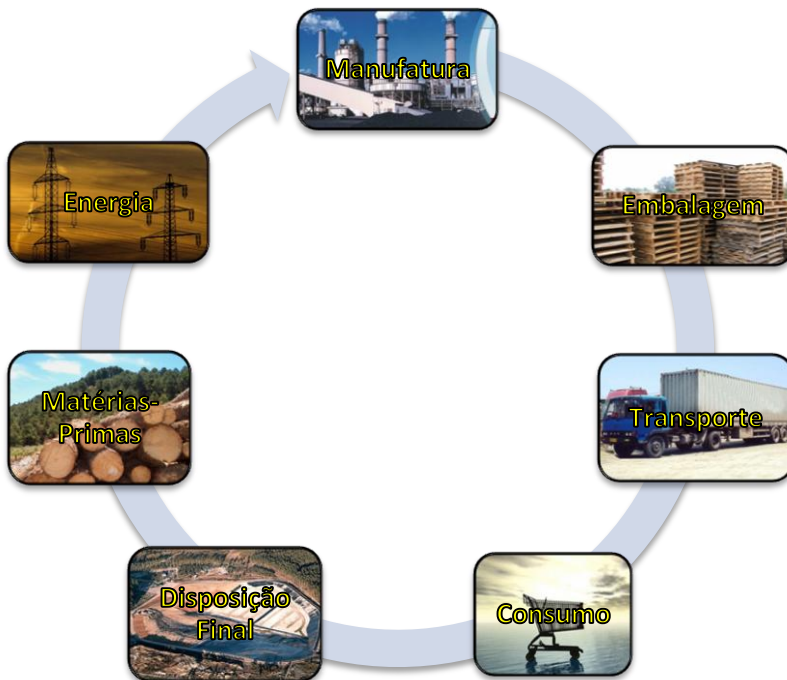


Figura 2. Ciclo de vida de um produto. *Fonte: Adaptado de Chehebe, 2002.*

Para Chehebe (2002) esta compilação de dados do ciclo de vida de um produto e posterior avaliação são realizados mediante:

- Compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes a um sistema de produto;
- Avaliação de impactos ambientais potenciais associados a estas entradas e saídas;
- Interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos do estudo;

### 3.2.3. Noções Básicas de ACV

Aqui serão apresentados alguns conceitos que regem um estudo de ACV. Para melhor entendimento serão apresentados na forma de tópicos.

#### a) Foco

O enfoque de um ACV são os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo de todo o ciclo de vida de um produto (Figura 1 e Figura 2). Uma ACV engloba apenas aspectos ambientais. Aspectos sociais e econômicos estão tipicamente fora de seu escopo. Ainda, existe



a possibilidade de outras ferramentas serem combinadas com um estudo de ACV para ampliar a abrangência da mesma. (NBR ISO 14040, 2009).

#### b) Objetivos

Genericamente o objetivo de uma ACV é determinar as cargas ambientais associadas a um dado bem ou serviço<sup>4</sup> identificando e quantificando o uso de matérias primas, consumos energéticos e descargas de resíduos no ambiente, com o intuito de determinar o seu impacto (incidência, carga) e avaliar e implementar medidas práticas de melhoria ambiental (PEREIRA, 2005).

#### c) Aplicações

De acordo com a norma ISO 14040, a ACV pode subsidiar o nível de informação dos tomadores de decisão, nas indústrias e nas organizações governamentais ou não governamentais, visando, por exemplo, ao planejamento estratégico, à definição de prioridades ou a projetos ou reprojeto de produtos ou processos (ISO, 2009 a).

Para as organizações que buscam exportar seus produtos para os mercados europeu e norte americano esta ferramenta faz-se cada vez mais necessária. Como descreveu Ometto (2005), o mercado globalizado exige algumas obrigações dos produtores, quanto ao desempenho ambiental de seus produtos. Isto é expresso pela rotulagem ambiental que pode ser considerada uma barreira internacional para exportação. Uma ferramenta para a obtenção da rotulagem ambiental pode ser a ACV.

Algumas das aplicações diretas que um estudo de ACV pode oferecer conforme foi descrito por Chehebe (2002) são:

- Desenvolvimento e aperfeiçoamento de produtos;
- Planejamento estratégico;
- Elaboração de políticas públicas;
- Marketing;

#### d) Transparência

Uma das primeiras definições apresentada pela Norma ISO 14040 (2009) do processo de ACV é a transparência. Em função da complexidade de uma ACV, é importante assegurá-la na execução, de modo a garantir que a interpretação não seja comprometida.

---

<sup>4</sup> Entende-se por serviço, qualquer produto ou processo.

e) Completeza

A ACV considera todos os aspectos do ambiente, da saúde do ser humano e dos recursos naturais. O grau de completeza de um estudo deve abordar todos os atributos que estão inseridos nestes três meios (NBR ISO 14040, 2009).

f) Abordagem

Um estudo de ACV é estruturado ao redor de uma unidade funcional (CHEHEBE, 2002). Sua abordagem é relativa a esta unidade. Todas as etapas seguintes deste estudo estão relacionadas a esta unidade funcional.

Como preconizado nas normas NBR ISO 14040 (2009) e NBR ISO 14044 (2009), um estudo como o proposto neste TCC deve priorizar uma abordagem científica, baseada em ciências naturais. Caso, isto não se mostrar possível, outras abordagens científicas poderão ser utilizadas como, por exemplo: as derivadas das ciências econômicas e sociais. Ainda, pode-se recorrer a convenções internacionais. Em último caso, as decisões podem ser tomadas, embasadas em escolha de valores, somente quando nenhum outro embasamento for possível (abordagem científica, social, econômica ou convenção internacional). Estas mesmas normas indicam que um estudo de ACV é uma técnica interativa. As fases subsequentes deste estudo utilizam os resultados das etapas anteriores.

O Business Dictionary (2010) define iteração como o processo para chegar progressivamente a uma melhor decisão ou um resultado desejado, repetindo as rodadas de análise ou os ciclos de operações.

g) Limitações

Para Chehebe (2002, p. 26), um estudo de ACV compreende todo o ciclo de vida de um produto. Porém, na prática esta abrangência completa pode ser impossível, em virtude de tornar este estudo gerenciável, prático, econômico, e confiável, devemos limitá-lo. O delineamento do sistema deve ser realizado com extremo cuidado.

h) Unidade Funcional

*“É uma característica fundamental de uma ACV, seu produto é definido pela função ou serviço que ele deve fornecer. Para uma comparação justa, é essencial que o sistema comparado forneça o mesmo serviço ao usuário”* (GÜNTHER, 2007).

Como descrito por Ferreira (2004, p. 14), a unidade funcional é essencial no caso de comparação entre produtos, pois fornece uma referência à qual as entradas e saídas são relacionadas.

### 3.2.4. Normatização

Quanto à sua padronização, a *International Organization for Standardization* (ISO) trabalha em torno da Avaliação de Ciclo de Vida desde 1993 referenciando a série ISO 14040. No ano de 2009, as normas referentes à ACV, ISO 14041, ISO 14042 e ISO 14043 foram condensadas em apenas uma norma, a ISO 14044.

Atualmente, estão publicadas:

- NBR ISO 14040: Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida – *Princípios e Estrutura*;
- NBR ISO 14044: Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida – *Requisitos e Diretrizes*;

Além destas normas, foram publicados dois Relatórios Técnicos (Technical Report) e uma Especificação Técnica (Technical Specification):

- ISO TR 14047: Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida – Exemplos de Aplicação da ISO 14042;
- ISO TS 14048: Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida – Formato da Apresentação de Dados;
- ISO TR 14049: Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida – Exemplos de Aplicação da ISO 14042 para a definição de objetivos e escopo e análise de inventário.

### 3.2.5. Estrutura Metodológica

Benedet Júnior (2007) descreve em sua dissertação que a estrutura metodológica para avaliação do ciclo de vida consiste em definir quatro fases fundamentais, tais como:

- Objetivo e Escopo;
- Análise de Inventário de Ciclo de Vida;
- Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida;
- Interpretação;

Estas etapas estão interligadas entre si de maneira ilustrada pela Figura 3.

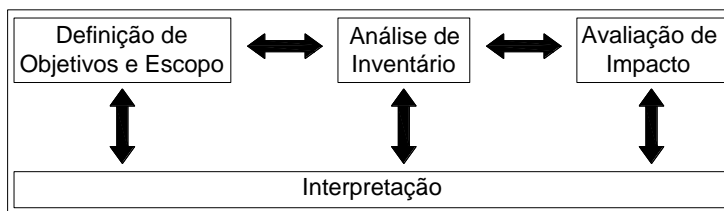


Figura 3. Etapas de uma ACV e suas relações. Adaptado da NBR ISO 14040.

#### a) Objetivo e Escopo

A ACV começa com o estabelecimento das premissas iniciais que irão determinar o subsequente plano de trabalhos do estudo (PEREIRA, 2005).

A NBR ISO 14044 (2009) posiciona que a definição do objetivo deve incluir, de forma clara, os propósitos pretendidos e conter todos os aspectos considerados relevantes para direcionar as ações que deverão ser realizadas. A norma preconiza que esta fase deve contemplar:

- A aplicabilidade pretendida;
- As razões da realização deste estudo;
- O público-alvo;

O escopo refere-se à aplicabilidade geográfica, técnica e histórica do estudo: de onde virão os dados, como atualizar o estudo, como a informação será manipulada e onde os resultados serão aplicados (US EPA, 2006).

Portanto, o escopo engloba:

- Sistema de produto a ser estudado;
- Definição dos limites do sistema;
- Definição das unidades do processo;
- Estabelecimento da função e da unidade funcional do sistema;
- Procedimentos de alocação (divisão de cargas ambientais entre os co-produtos);
- Requisitos dos dados;
- Hipóteses e limitações;
- Se caso for realizada, a avaliação de impacto e a metodologia a ser adotada;
- Se for ser realizada a fase de interpretação, e a metodologia a ser adotada;
- Tipo e formato de relatório necessário ao estudo;
- Definição dos critérios para revisão crítica, se necessária;

#### b) Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV)

A organização americana SAIC (2006) explica que esta é a fase de coleta e quantificação de todas as variáveis (matérias-primas, energia utilizada, transporte, emissões atmosféricas, efluentes líquidos, geração de resíduos sólidos, etc.) envolvidas durante o ciclo de vida de um produto, processo ou atividade.

O desenvolvimento do inventário é um processo iterativo, ou seja, a seqüência de eventos envolve a checagem de procedimentos de forma a assegurar os requisitos de qualidade estabelecidos na primeira

fase de uma ACV. Às vezes, podem ser identificadas condições que requeiram revisões do objetivo ou do escopo do estudo (FERREIRA, 2004).

Segundo a NBR ISO 14040 (2009), a ICV deve compreender:

- Considerações gerais;
- Coleta de dados;
- Cálculos com os dados;
- Alocação de fluxos e liberações;

c) Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV)

A NBR ISO 14044 preconiza que baseado nos resultados obtidos na análise do inventário, esta fase avalia a magnitude e significância dos impactos ambientais. O detalhamento, escolha dos impactos a serem avaliados e a metodologia utilizada dependem do objetivo e do escopo do estudo. A avaliação de impacto é também um processo iterativo de revisão do objetivo e escopo de ACV, para vislumbrar se os objetivos foram alcançados ou para modificá-los caso esta avaliação indicar a impossibilidade de alcançá-los.

A transparência, segundo a Norma NBR ISO 14040, é um fator crítico na avaliação de impacto para assegurar sua fidelidade e clareza.

d) Interpretação

Segundo a Scientific Applications International Corporation (2006), a interpretação é a avaliação e análise dos resultados obtidos nas fases de ICV e AICV deste estudo de acordo com os objetivos e escopo definidos na primeira parte. Podem ser apresentadas em forma de conclusões e recomendações, principalmente para servir de auxílio para a tomada de decisões.

As NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044 (2009) vigentes, sempre colocam que as fases de uma ACV, e a interpretação é uma delas, pode envolver um processo iterativo de rever e revisar o escopo da ACV, assim como a natureza e qualidade dos dados coletados, de forma consistente com o objetivo definido.

### *3.2.6. Categorias de Impactos*

Existem diversas categorias de impactos que podem ser analisadas em uma ACV. As categorias escolhidas podem seguir de acordo com o método definido ou ainda de acordo com as peculiaridades do próprio estudo.

Conforme Chehebe (2002), esta seleção deve ser fundamentada em conhecimento científico dos mecanismos ambientais e processos analisados.

As categorias descritas abaixo são àquelas incluídas pelo método CML 2001, e outras duas que se mostraram de interesse para este estudo (Demanda Acumulada Total de Energia e Quantidade de Resíduos).

a) Depleção de Recursos Abióticos: é a diminuição dos recursos naturais, reflexo direto da obtenção das matérias-primas.

b) Acidificação: esta categoria de impacto foi muito bem descrita por Lazzari et al (2008) no I Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida: *“a acidificação é um importante impacto ambiental considerado por vários métodos de AICV . Os tipos de acidificação são divididos em: Terrestre e Aquática. A acidificação do solo pode promover a escassez de nutrientes, os quais reduzem as florestas e a saúde das plantas, e pode, com a lixiviação de alumínio tóxico, promover impactos ecotoxicológicos. Além disso, futuramente pode causar aumento na camada de acidez dos lagos e perda da capacidade de neutralização ácida, que também estão associadas com a perda da vida aquática”*.

c) Eutrofização: uma definição para esta categoria de impacto é *“Eutrofização: enriquecimento do meio aquático com nutrientes, sobretudo compostos de nitrogênio e/ou de fósforo, que promove o crescimento acelerado de algas e de formas superiores de plantas aquáticas, perturbando o equilíbrio biológico e a qualidade das águas em causa”* (Decreto – Lei 152/1997, 1997).

d) Aquecimento Global: este é um aspecto ambiental que esta em constante discussão por ter um efeito direto sobre a vida na terra, muitas das vezes, este aspecto é relacionado com catástrofes naturais.

*“O Potencial de Aquecimento Global (GWP) é uma medida das emissões de gases com efeito estufa (GEE), como o CO<sub>2</sub> e o metano (CH<sub>4</sub>) e é expressa em kg de CO<sub>2</sub> equivalentes. Emissões de gases do efeito estufa podem causar um aumento na absorção de radiação emitida pelo sol e refletida pela Terra, aumentando o efeito estufa natural”* (PE AMERICAS, 2010).

e) Depleção de Ozônio Estratosférico: a camada de ozônio é uma região da atmosfera situada entre 15 e 50 quilômetros de altitude, e serve como um gigantesco “filtro solar” natural, com poder de bloquear a radiação Ultra Violeta (Lemes & Alvalá, 2010).

f) Toxicidade Humana: a Environmental Protection Agency, órgão governamental responsável pela proteção do meio ambiente dos EUA (US EPA) em sua página de glossários ambientais descreve a toxicologia como a graduação em que uma substância ou mistura de substâncias podem prejudicar certas espécies. No caso desta categoria, é relativo ao efeito em seres humanos.

g) Ecotoxicidade da Água Doce: toxicidade para o meio ambiente, relativo ao efeito que causa para o ecossistema de água doce.

h) Ecotoxicidade Marinha: Toxicidade para o meio ambiente, relativo ao efeito que causa para o ecossistema marinho.

i) Ecotoxicidade Terrestre: toxicidade para o meio ambiente, relativo ao efeito que causa para o ecossistema terrestre.

j) Formação Fotoquímica de Oxidante: para a CETESB (2010), os oxidantes fotoquímicos são uma mistura de poluentes secundários formados pelas reações entre óxidos de nitrogênio e compostos voláteis, na presença da luz solar, sendo estes últimos liberados na queima incompleta e evaporação de combustíveis e solventes. O ozônio é o principal produto desta reação.

k) Demanda Total de Energia Acumulada: esta categoria é uma das acrescentadas ao método CML 2001 e reflete o uso acumulado de energia elétrica.

l) Quantidade de Resíduos: esta categoria também é uma das acrescentadas ao método CML 2001 e esta relacionada à geração de resíduos puramente em quantidade (unidade por quilogramas).

### **3.3. Compressores**

O ar comprimido é uma importante forma de energia, resultado da compressão do ar ambiente, cuja composição é basicamente uma mistura de oxigênio e nitrogênio. Insubstituível em diversas aplicações, hoje “*existem cerca de 40 milhões de compressores em uso, sendo que 4 milhões são fabricados anualmente*”. (METALPLAN, 2008).

#### *3.3.1. Histórico*

A aplicação técnica do ar comprimido nos remete ao homem primitivo. Elliott (2006) coloca que a primeira aplicação do ar

comprimido muito possivelmente foi soprar um braseiro para avivar a chama. O ar usado para este fim é comprimido nos pulmões, que pode ser entendido como um compressor natural do ser humano.

O primeiro compressor mecanizado, o fole, com acionamento manual data de 3000 A.C. Este mecanismo foi necessário quando o *“processo de ligar cobre metálico e estanho para a obtenção de bronze desenvolveu-se a um nível de produção mais estável”* (METALPLAN, 2008, p 7). Durante séculos, o uso do fole para comprimir o ar foi utilizado e aperfeiçoado.

Em 1776, com o aumento contínuo da capacidade das fornalhas e a necessidades de produção, onde John Wilkinson inventou uma máquina sopradora, o que seria o primeiro protótipo de um compressor mecânico. Até esta época, os usos de compressores se faziam necessários somente nos processos de combustão das fornalhas metalúrgicas e na ventilação de minas subterrâneas (SCHULZ S/A (b), 2009).

No século XVIII se iniciou o uso de ar comprimido como meio de transmissão de energia, muito por consequência da descoberta da rápida capacidade de condensação do vapor. Cornejo, (1997), coloca que a primeira transmissão em larga escala bem sucedida de energia em forma de ar comprimido ocorreu em 1857 no desenvolvimento da obra do Túnel de Mt. Cenis nos Alpes Suíços. Em 1888, Viktor Popp utilizou ar comprimido para suprir alguns locais da França em um sistema de esgotos. (Da Costa, 1978)

Hoje *“sua utilização transcende os setores produtivos e se mescla a uma série de atividades humanas, que variam desde necessidades básicas como enchimento de pneus, atividades de lazer, prestação de serviços entre outras. O aproveitamento do ar comprimido como energia está ainda em expansão e as tecnologias que permitem sua geração e aproveitamento acompanham lado a lado este movimento. Fácil concluir portanto, que muito há pela frente em possibilidades e conquistas e as razões facilmente conclusivas, pois o ar comprimido é um dos elementos de mais rica e variada aplicação, além de ser uma forma de energia renovável, de baixo custo e sem causar danos ao meio ambiente”*(SCHULZ S/A (b), 2009).

### 3.3.2. Classificação Geral

Da Costa (1978) descreve e classifica de forma generalizada os tipos de compressores de ar, a sua classificação é definida em função da natureza do movimento apresentado por esta máquina, e podem ser divididos entre alternativos e rotativos. Os compressores alternativos podem ser tanto de êmbolo como de membrana e os compressores de membrana podem ter sua membrana movimentada direta ou



indiretamente. Aqueles, chamados de rotativos, podem ser: de engrenagens de fluxo tangencial; de engrenagens helicoidais ou de fluxo axial; de palhetas; de pêndulo; de anel de líquido; axiais; de pistão rotativo; e centrífugos ou radiais (Tabela 1).

Objeto em análise neste TCC é um compressor alternativo de êmbolo.

Tabela 1. Classificação Geral dos compressores.

<b>Compressores</b>	<b>Divisão</b>
	Êmbolo
Alternativos	Movimentação direta
	Membrana Movimentação Indireta
Rotativos	Engrenagem de fluxo tangencial
	Engrenagens helicoidais ou de fluxo axial
	De palhetas
	De pêndulo
	De anel de líquido
	De pistão rotativo
	Centrífugos ou radiais
Axiais	

*Fonte: Da COSTA, 1978.*

### 3.3.3. Principais Componentes de um Compressor Alternativo de Êmbolo

Segundo a Empresa Schulz S/A (b) (2009), este compressor pode ser basicamente dividido em três regiões: motor elétrico, unidade de compressão de ar e reservatório de ar (Figura 4).



## Legenda

**1**-Unidade Compressora;

**2**-Motor;

**3**-Reservatório;

Figura 4. Componentes principais de um compressor alternativo de êmbolo. *Fonte:* [www.schulz.com.br](http://www.schulz.com.br).

### a) Unidade Compressora

A unidade compressora é o principal mecanismo onde se dá efetivamente a admissão e compressão do ar. Pode ser de mono estágio ou multi estágios, de simples ou duplo efeito e ainda, lubrificado na porção inferior ou isento de óleo (utilização de material antiaderente) (SCHULZ S/A (b) 2009).

### b) Motor

*“Unidade motriz para acionamento. A grande maioria é equipada com motores elétricos podendo, entretanto, ter motores à combustão interna”* (SCHULZ S/A (b), 2009).

### c) Reservatório

*“Componente muito importante de um compressor, armazena o ar comprimido e equaliza a sua pressão para posterior uso. Serve de base ou lastro para as unidades motriz e de compressão”.* (SCHULZ S/A , 2009, b).

### 3.3.4. Outros Componentes

Um compressor de ar possui alguns outros componentes de certa relevância e que estão demonstrados na Figura 5)



## Legenda

- 1-** Filtro de Admissão;
- 2-** Volante;
- 3-** Serpentina;
- 4-** Pressostato;
- 5-** Manômetro;
- 6-** Dreno do Reservatório;
- 7-** Protetor de peças Móveis;
- 8-** Correia Tracionadora;
- 9-** Dreno de Óleo;

Figura 5. Outros componentes do compressor. Fonte: [www.schulz.com.br](http://www.schulz.com.br).

### a) Filtro de Admissão

*“Retém parcialmente as impurezas do ar ambiente, antes de sua entrada no cilindro, a fim de preservar os mecanismos internos da ação abrasiva de partículas sólidas em suspensão”* (SCHULZ S/A, 2009, b).

### b) Volante

*“Transmissor de força motriz para a unidade compressora. Seu diâmetro determina a rotação do conjunto compressor. Também é o elemento que refrigera a unidade compressora por ventilação forçada”* (SCHULZ S/A, 2009, b).

### c) Serpentina

*“Podem ser intermediárias ou de descarga, são dutos de transferências de ar comprimido de um estágio ao outro, ou do último estágio para o reservatório”* (SCHULZ S/A, 2009, b).

### d) Pressostato

*“Interruptor de acionamento mecânico/pneumático que controla os ciclos de carga e parada do motor, quando este for elétrico. É a pressão interna do reservatório que determina os limites de pressão para a sua atuação, dentro de uma faixa diferencial de projeto”* (SCHULZ S/A, 2009, b).

### e) Manômetro

*“Indicador de pressão interna do reservatório conhecida como pressão G. Poderá ser de aproximação ou ainda, de precisão”* (SCHULZ S/A, 2009, b).

### f) Dreno do Reservatório

*“É um dispositivo para drenagem do condensado que se acumula no reservatório. Pode ser de acionamento manual ou eletrônico temporizado”* (SCHULZ S/A, 2009, b).

g) Protetor de Peças Móveis

*“Componente de segurança para evitar acidentes pessoais e atração de peças móveis no ambiente pelo efeito de sucção das pás do volante”* (SCHULZ S/A, 2009, b).

h) Correia Tracionadora

*“Elemento de tração do motor para o bloco compressor”* (SCHULZ S/A, 2009, b).

i) Dreno de Óleo

*“Ponto de escoamento para a troca do fluido lubrificante”* (SCHULZ S/A, 2009, b).

### 3.3.5. Funcionamento

Este modelo comprime o ar atmosférico volumetricamente. A alteração deste volume é obtida pela redução mecânica da câmara onde o ar está confinado. O fluxo gerado por esta compressão mecânica é intermitente, pelo simples fato que é necessário reduzir um determinado volume por vez consecutivamente. Assim, tem-se um aumento acentuado da pressão, alternadamente à redução do volume desta porção de ar (SCHULZ S/A, 2009, b).

O Relatório Fundamentos da Energia Pneumática (SCHULZ S/A, 2009) explica que de forma ilustrativa, o princípio de seu funcionamento é idêntico ao funcionamento de um motor de combustão interna, com três tempos: admissão, compressão e descarga. A fase de admissão, como o próprio nome diz, é a fase na qual o ar é admitido no cilindro de compressão. Temos então a fase de compressão, ao qual pela redução do volume do fluido no cilindro compressor, a pressão do sistema se eleva. A fase de descarga é aquela que, ao atingir a pressão desejada, o fluido é expulso do cilindro para outro meio, geralmente o reservatório de acumulação, através da válvula de descarga (Figura 6 e Figura 7).

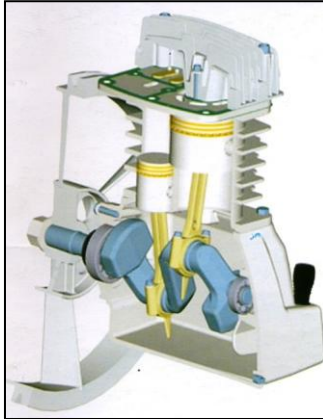


Figura 6. Detalhe de uma unidade compressora. Fonte: SCHULZ S/A (2009, b).

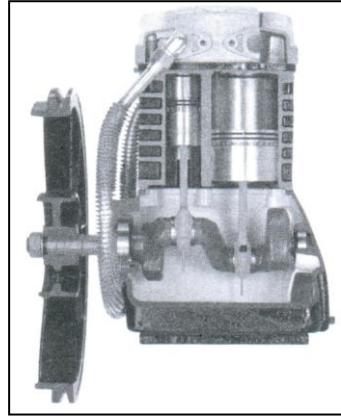


Figura 7. Interior de uma unidade compressora. Fonte: SCHULZ S/A (2009, b).

### 3.3.6. Processos Produtivos

A descrição dos principais processos utilizados na linha de produção de um reservatório de ar da empresa Schulz S/A apresenta-se abaixo:

#### a) Corte de Plasma

*“O plasma que era utilizado praticamente para cortar metais não ferrosos, passou a ser um dos principais processos de corte para os fornecedores de chapas cortadas, bem como para diferentes setores como a indústria automobilística, principalmente a pesada, máquinas agrícolas, estruturas metálicas, caldeiraria e indústria naval” (LIMA, 2010).*

De acordo com Madden (2008), a atividade de corte a plasma é um processo térmico de alta velocidade que utiliza um arco elétrico controlado com precisão para cortar os metais mais comuns (Figura 9). Este processo emprega uma pequena agulha com um orifício na ponta e um fluxo rápido de gás (ar ou nitrogênio) que gera uma região de altíssima temperatura. Além deste fluxo de gás, seu funcionamento requer energia elétrica e um eletrodo.

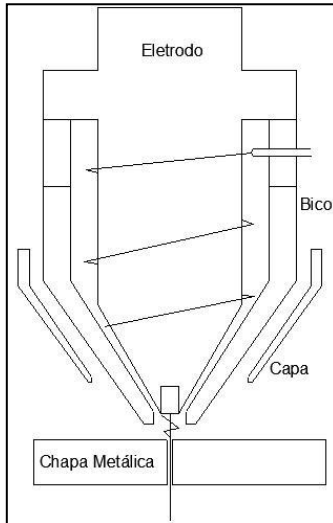


Figura 8. Corte a Plasma. Fonte: adaptado de Lima, 2010.

#### b) Calandragem

Seguimento no qual a chapa de aço, passa por grandes rolos (calandras), e toma forma cilíndrica (Figura 9). (CATIM, 2010),

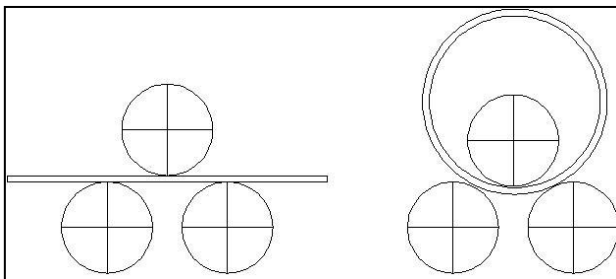


Figura 9. Chapa obtendo a forma cilíndrica através do processo de Calandragem.

#### c) Soldagem por Tungsten Inert Gas (TIG)

“É um processo no qual a união é obtida pelo aquecimento dos materiais por um arco estabelecido entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a peça” (MODENESI E MARQUES, 2000).

Os autores ressaltam que o gás inerte de proteção do eletrodo e da zona de solda é o Argônio. A Figura 10 esquematiza o processo de soldagem, enquanto que a Figura 11 exemplifica a montagem usual dos equipamentos empregados.

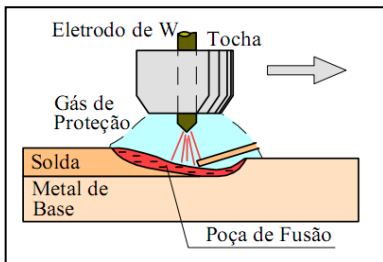


Figura 10. Processo de Soldagem TIG.  
Fonte: Modenesi e Marques, 2000.

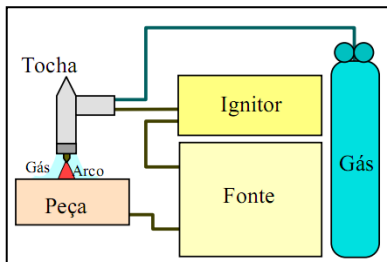


Figura 11. Montagem usual. Fonte:  
Modenesi e Marques, 2000.

#### d) Soldagem por Arco Submerso

A American Welding Society<sup>5</sup> (2010) define soldagem “*como a operação que visa a coalescência localizada pelo aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a aplicação de pressão e de metal de adição*”.

Gimenez Júnior e Ramalho (2010) descrevem o processo de soldagem por arco submerso (Figura 12) que é um processo no qual o calor para a soldagem é fornecido por um arco desenvolvido entre um eletrodo de arame sólido (cobre) ou tubular e a peça obra (Figura 13).

Modenesi e Marques (2000) expõem que este arco é protegido por uma camada de material fusível granulado (fluxo) que é colocado sobre a peça enquanto o eletrodo é alimentado continuamente. O fluxo na região próxima ao arco é fundido, protegendo o arco e a poça de fusão e formando, posteriormente, uma camada sólida de escória sobre o cordão. Como o arco ocorre sob a camada de fluxo, ele não é visível, então o nome do processo.

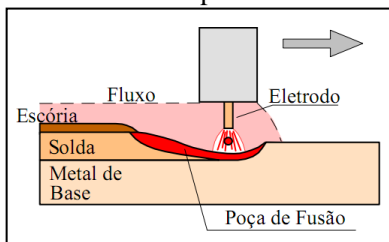


Figura 12. Esquemática de Soldagem ao Arco Submerso. Fonte: Modenesi e Marques, (2000).

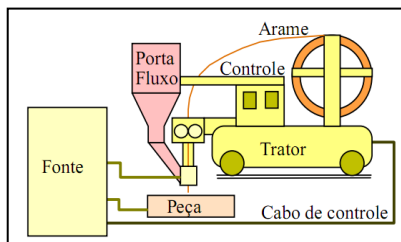


Figura 13. Equipamento empregado na soldagem por arco submerso. Fonte: Modenesi e Marques, (2000).

<sup>5</sup> Sociedade Americana de Soldagem, em inglês.

e) Soldagem por Metal Inert Gas (MIG)/Metal Active Gas (MAG)

É um processo de soldagem a arco que produz a união dos metais pelo seu aquecimento com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico contínuo (e consumível) e a peça (MODENESI e MARQUES, 2000). A proteção do arco e poça de fusão é obtida por um gás ou mistura de gases. Quando este gás é inerte (Argônio ou Hélio, por exemplo), o processo é chamado de MIG. Por outro lado, se o gás for ativo ( $\text{CO}_2$  ou misturas de  $\text{CO}_2$ , Ar e  $\text{O}_2$ ), o processo é MAG (Figura 14).

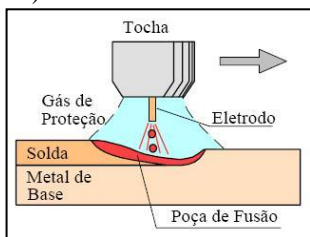


Figura 14. Processo de Soldagem MIG/MAG. Fonte: Modenesi e Marques, (2000).

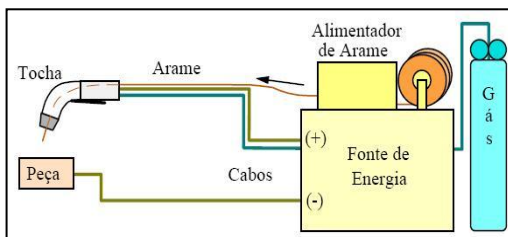


Figura 15. Equipamentos usuais para operação. Fonte: Modenesi e Marques, (2000).

Trabalha com arame contínuo e com elevadas densidades de corrente no eletrodo apresentando elevada produtividade. O equipamento básico para este tipo de soldagem consiste em uma fonte de energia, tocha de soldagem, fonte de gás e alimentador de arame (Figura 15) (MODENESI e MARQUES, 2000).

f) Jateamento de Granalha

O jateamento de granalha é uma técnica superficial por impacto, o qual se pode obter um excelente grau de limpeza e simultaneamente um correto acabamento superficial. Este processo é em geral utilizado para limpeza e preparação de superfícies que posteriormente receberão uma aplicação de revestimento (CYM MATERIALES S/A, 2010).

Segundo informações de Cym Materiales S/A (2010), a granalha de aço é um material abrasivo de pequena granulometria, e que através de um processo de aceleração atinge a peça com alta velocidade.

#### 4. METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia deste trabalho. É a explicação minuciosa, detalhada, rigorosa e exata de toda ação desenvolvida no caminho para alcançar os objetivos propostos.



#### 4.1. Localização

A realização de parte deste estudo, referente principalmente à coleta de dados, foi na Empresa de Fundição e Compressores Schulz S/A, instalada no Município de Joinville, região nordeste do estado de Santa Catarina (Figura 16).



Figura 16. Localização do Município de Joinville em destaque. Fonte: Governo do Estado de SC, 2010.

Outras informações geográficas acerca deste município estão apresentadas abaixo (Tabela 2).

Tabela 2. Informações do Município de Joinville.

<b>Região de SC</b>	Nordeste
<b>Latitude</b>	26°18'05" S
<b>Longitude</b>	48°50'38" W
<b>Área do Município (km<sup>2</sup>)</b>	1.135,05
<b>Altitude da Sede (m)</b>	4,5
<b>Ponto Culminante (m)</b>	1.325

Fonte: IPPUJ, 2008.

O posterior tratamento dos dados coletados deste TCC realizou-se na sala de análise de dados do Grupo de Pesquisa em Avaliação do Ciclo de Vida (GPACV) no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

#### 4.2. Definições e Objetivos

Para realizar a ACV de um tipo de compressor de ar como modelo buscou-se dados que se enquadraram no seguinte cenário:

- Ser bastante utilizado no mercado brasileiro;
- Possuir base de dados de seu ciclo de vida (matérias-primas, cadeia produtiva, transporte, etc.);
- Não apresentar entrave quanto à exposição destes dados (segredos produtivos);
- Ser de interesse da empresa estudá-lo;

Como forma de assegurar que os itens descritos acima fossem respeitados, foi realizada uma reunião com um responsável técnico da área de engenharia produção de compressores, e da área ambiental da empresa. Com a apresentação dos interesses mútuos, e não havendo quaisquer entraves, o compressor de ar que melhor se encaixou neste perfil foi escolhido.

Após definido o compressor de ar, e de avaliado o panorama de sua situação (principalmente quanto à dificuldade de obtenção de dados e do tempo disponível para realizar este estudo), foi definido os limites deste estudo.

Neste ponto, foram também definidos as outras questões descritas no item Objetivo e Escopo, detalhes dentro do capítulo de revisão bibliográfica.

### **4.3. Dados**

Os dados deste trabalho são divididos em dois grupos, de acordo com sua origem. Temos os dados primários e os dados secundários.

Os dados primários são aqueles levantados diretamente, com informações da própria fonte a ser estudada. Aqui se encontram todos os dados referentes à fabricação do reservatório, as entradas e as saídas de cada etapa do processo.

Já os dados secundários são aqueles que neste presente TCC foram acrescentados de acordo com a base de dados Ecoinvent. Aqui se classificam as informações relativas à obtenção das matérias-primas que entram no processo produtivo. A base de dados do Ecoinvent é um consistente inventário mundial acerca do ciclo de vida de produtos.

### **4.4. Coleta de Dados**

Definidos os objetivos e o escopo deste ACV, alguns cuidados foram tomados para melhor entendimento do processo antes de iniciar a coleta de dados.

- Ter em mãos o fluxograma detalhado da cadeia produtiva. Uma árvore do processo de fabricação foi formulada (apêndice 1), através da ferramenta AutoCad 2009.

- Teve-se em mãos a descrição detalhada de cada etapa desta cadeia;
- Desenvolveu-se um glossário que definiu as unidades de medidas utilizadas nestes processos;
- Foram descritas as técnicas de coleta de dados;
- Foi formulada uma tabela de coleta de dados para maior praticidade;

Procedeu-se à coleta de dados. Estes se basearam nas seguintes fontes:

- Dados fornecidos pela empresa, através de pesquisa documental e da base de dados dos setores de processos de produção, de engenharia de produtos, de requisição de materiais e demais áreas de apoio;
- Pesquisa de campo, através de medições e coletas no parque fabril/linha de produção;
- Aplicação de questionário aos funcionários da empresa;
- Utilização informações armazenadas no banco de dados Ecoinvent, para os processos que se mostrarem de difícil coleta como, por exemplo, dados referentes à obtenção de matérias-primas, considerados secundários;
- Contataram-se os trabalhadores do processo produtivo, a fim de evitar a utilização de informações que não condizem com a realidade (experiência do trabalhador na área).

O material necessário para a coleta dos dados primários consistiu em equipamentos de proteção individual (EPIs), tais quais: óculos de acrílico, protetores auriculares, sapatos de segurança e luvas de proteção que são de uso obrigatório no sistema de produção da empresa. Para a anotação as informações: uma tabela de coleta, uma prancheta para sustentá-la, e material de escrita.

Equipamentos utilizados na coleta de dados:

- Cronômetro;
- Balança;
- Amperímetro;

Os dados secundários, referentes principalmente a obtenção de matérias-primas, não necessitaram ser coletados uma vez que são originários da base de dados Ecoinvent

Com a finalização da coleta de dados, ocorreu uma verificação das definições pré-estabelecidas no escopo deste TCC.

#### **4.5. Tratamento dos Dados**

Para assegurar a consistência destes dados e para diminuir as variações, métodos estatísticos foram empregados com o auxílio do

Software Windows Excel. A validação dos dados incluiu balanço de massa do processo.

Em posse de todos os dados da área de abrangência definida no escopo deste ACV, os valores de entradas e saídas do sistema foram dispostos em uma tabela (em Excel) chamada de Tabela do Inventário (apêndice 2).

Novamente verificaram-se as definições pré-estabelecidas no escopo deste TCC.

#### **4.6. Qualidade dos Dados**

Segundo a norma ISO 14040, como explica Ferreira (2004), os requisitos de qualidade dos dados devem se referir: à cobertura temporal, cobertura geográfica, cobertura tecnológica, precisão, integridade e representatividade dos dados, consistência e reprodutibilidade dos métodos utilizados ao longo da ACV, fontes dos dados e suas representabilidades e incerteza da informação.

Para buscar a qualidade dos dados e englobar estes requisitos este TCC utilizou a Matriz Pedigree (Figura 17). Esta matriz é utilizada para o tratamento de incertezas.

Valor do indicador	1	2	3	4	5
Confiabilidade	Dados verificados e baseados em medições	Parte dos dados baseado em suposições ou dados baseados em medições	Parte dos dados baseados em estimativas qualificadas	Estimativa qualificada; Dados derivados de informações teóricas	Estimativas não qualificadas
Completeza	Dados representativos de todos os locais de relevância do mercado (dentro de um pequeno período de variação)	Metade dos dados representativos originários de locais de relevância do mercado em um período adequado	Dados representativos originários de apenas alguns locais de relevância do mercado em um período adequado	Dados representativos originários de apenas um local de relevância do mercado em um pequeno período	Dados originários de apenas alguns locais de relevância do mercado em um pequeno período
Correlação temporária	Menor que 3 anos de diferença de sua referência	Menor que 6 anos de diferença de sua referência	Menor que 10 anos de diferença de sua referência	Menor que 15 anos de diferença de sua referência	De ano desconhecido ou superior a 15 anos de diferença de sua referência
Correlação geográfica	Dados da área de estudo	Média de dados de uma grande área aonde esta situada o local de estudo	Dados de uma área menor do que o local de estudo, ou de local similar		Dados de uma área desconhecida ou de área diferente do local de estudo
Correlação tecnológica	Dados de processos de empresas e materiais sob estudo		Dados de processos de empresas e materiais similares as de estudo ou de processos e materiais da área de estudo porém de diferente tecnologia	Dados de processos de empresas e materiais similares porém de diferente tecnologia ou dados em escala laboratorial e de mesma tecnologia da área de estudo	Dados de processos de empresas e materiais em escala laboratorial e de diferente tecnologia da área de estudo
Tamanho da amostra	?100, medidas contínuas, balanço de produtos	?20	?10	?=3	Desconhecido

Figura 17. Matriz Pedigree para tratamento das incertezas. Fonte: Althaus, Doka and Dones,(2007).

Para Berg et al (2010), a Matriz Pedigree surge como uma forma de avaliar a qualidade dos dados de modo a formar uma imagem completa dos argumentos relevantes para a sua avaliação geral.

A base de dados é associada de acordo com seis categorias: confiança dos dados, completeza, correlação temporal, correlação geográfica, correlação tecnológica e tamanho da amostra.

Cada categoria é dividida em cinco pesos com pontuação entre 1 e 5, conforme Tabela 3.

Tabela 3. Tabela que associada à Matriz Pedigree, delega valores para a fórmula da incerteza. *Fonte: Althaus et al, 2007.*

Valor do Indicador	1	2	3	4	5
Confiabilidade	1,00	1,05	1,10	1,20	1,50
Completeza	1,00	1,02	1,05	1,10	1,20
Correlação Temporal	1,00	1,03	1,10	1,20	1,50
Correlação Geográfica	1,00	1,01	1,02		1,10
Correlação Tecnológica	1,00		1,20	1,50	2,00
Tamanho da Amostra	1,00	1,02	1,05	1,10	1,20

Assim, uma relação de seis valores é associada a cada entrada e saída do sistema de produto, ou seja, a cada dado coletado. Estes valores alimentam a fórmula Equação 1 e gera um valor de incerteza que alimenta o programa computacional como o desvio padrão dos valores coletados.

Equação 1. Equação geradora dos valores de incerteza da Matriz Pedigree. *Fonte: Althaus, et al 2007.*

$$SD_{g95} := \sigma_g^2 = \exp \sqrt{[\ln(U_1)]^2 + [\ln(U_2)]^2 + [\ln(U_3)]^2 + [\ln(U_4)]^2 + [\ln(U_5)]^2 + [\ln(U_6)]^2 + [\ln(U_b)]^2}$$

Com:

U<sub>1</sub>: fator de incerteza relacionado à confiança dos dados;

U<sub>2</sub>: fator de incerteza relacionado à completeza dos dados;

U<sub>3</sub>: fator de incerteza relacionado à correlação temporal;

U<sub>4</sub>: fator de incerteza relacionado à correlação geográfica;

U<sub>5</sub>: fator de incerteza relacionado à correlação tecnológica;

U<sub>6</sub>: fator de incerteza relacionado ao tamanho das amostras;

U<sub>b</sub>: fator de incerteza base;

O fator de incerteza base é escolhido de acordo com a atividade realizada, por exemplo, “p” para produção e o tipo da entrada e da saída.

Tabela 4. Tabela de fatores base para cálculo de incerteza. (ALTHAUS ET AL, 2007).

Grupo de Entradas/Saídas	c	p	a	Grupo de Entradas/Saídas	c	p	a
Demanda de:				Poluentes emitidos para o ar:			
Energia térmica, eletricidade, co- produtos, serviços de tratamento	1,05	1,05	1,05	CO <sub>2</sub>	1,05	1,05	
Serviços de transporte (tkm)	2,00	2,00	2,00	SO <sub>2</sub>	1,05		
Infraestrutura	3,00	3,00	3,00	NMVOC total	1,50		
Recursos:				NO <sub>x</sub> , N <sub>2</sub> O	1,50		1,40
Energia primária, metais, sais	1,05	1,05	1,05	CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub>	1,50		1,20
Uso e ocupação do solo	1,50	1,50	1,10	Hidrocarbonetos	1,50	2,00	
Uso e transformação do solo	2,00	2,00	1,20	PM>10	1,50	1,50	
Poluentes emitidos para a água:				PM 10	2,00	2,00	
BOD, COD, DOC, TOC, compostos inorgânicos		1,50		PM 2,5	3,00	3,00	
Hidrocarbonetos, PAH		3,00		Hidrocarbonetos aromáticos	3,00		
Metais pesados		5,00	1,80	CO, metais pesados	5,00		
Pesticidas			1,50	Outras, emissões inorgânicas		1,50	
NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub>			1,50	Radionuclídeos		3,00	
Poluentes emitidos para o solo:							
Combustível, hidrocarbonetos		1,50					
Metais pesados		1,50	1,50				
Pesticidas			1,20				

#### 4.7. Análise em Laboratório

A análise dos dados coletados foi realizada através do software SimaPro, com base em um dos seus métodos, o CML 2001. Este mesmo programa foi utilizado por Ribeiro et al (2007) ao realizarem um ACV de um componente automotível, que pode ter seu processo produtivo comparado ao de um compressor, de maneira geral.

Segundo Royce (2010), o software Simapro é uma poderosa ferramenta de ACV, utilizado por grandes indústrias e consultores através de institutos de pesquisa e Universidades. Ele permite que ciclos de vida complexos possam ser analisados de forma sistemática e transparente.

Por se tratar de um programa adquirido pela Universidade Federal de Santa Catarina, esta etapa contou com a colaboração do Grupo de Pesquisa em Análise de Ciclo de Vida (GPACV), o qual forneceu um computador para este trabalho.

O procedimento básico do software é a entrada de dados, adequação ao método, e geração dos resultados.

Este programa gerou os gráficos de impactos para elaboração da Análise de Inventário de Ciclo de Vida (AICV). “Considerado um método

*clássico, restringe os modelos quantitativos aos estágios prévios do mecanismo ambiental para limitar incertezas e, classificar e caracterizar os resultados do ICV em categorias midpoint.*<sup>6</sup>” (SOUSA, 2008).

Como Guineé, et al (2001) colocam, os seus modelos de caracterização possuem abordagem orientada para o problema, englobando todos os impactos relacionados a emissões e aos recursos, e para os quais fatores quantificados estão disponíveis. Dentre as categorias recomendadas pelo CML2001 para a avaliação de impactos ambientais, foram utilizadas:

- Depleção de recursos abióticos;
- Acidificação;
- Eutrofização;
- Mudança climática;
- Depleção de ozônio estratosférico;
- Toxicidade humana;
- Ecotoxicidade da água doce;
- Ecotoxicidade marinha;
- Ecotoxicidade terrestre;
- Formação fotoquímica de oxidante;

Em virtude da importância da geração de resíduos neste processo, e do consumo energético foram acrescentadas outras duas.que não constam nas categorias de impactos do CML 2001.

- Demanda total de energia acumulada;
- Quantidade de resíduos;

Para a etapa de normalização, o CML2001 fornece referências em escala geográfica local, utilizando valores da Holanda para o ano 1997; regional, com dados da Europa Ocidental para 1995; e global, com valores mundiais para os anos 1990 e 1995.

Para este presente TCC, optou-se por utilizar referências globais com valores mundiais do ano de 1995.

#### **4.8. Interpretações**

É uma avaliação dos resultados alcançados e dos critérios adotados durante a realização de um ACV.

Nesta última etapa, em posse das informações geradas pelo SimaPro, e pelos dados antes coletados, tomou forma a AICV, um importante passo para alcançar os objetivos específicos de identificação de pontos do processo produtivo.

---

<sup>6</sup> *Relativos ao ponto médio na avaliação do impacto do ciclo de vida de um produto.*



Nesta etapa formularam-se as conclusões e recomendações aos interessados na produção industrial deste reservatório consistentes com o objetivo e escopo do trabalho.

## **5. RESULTADOS**

Neste capítulo esta demonstrada a ACV do componente escolhido, o reservatório de ar. A metodologia foi aplicada seguindo as normas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044 (2009).

### **5.1. Objetivo do Estudo**

O principal objetivo deste estudo, como mencionado no item 2 é indicar a atividade de maior participação para o impacto ambiental no processo produtivo de um reservatório de ar de um compressor modelo CSL20BR/200L fabricado pela Empresa Schulz S/A. Limita-se o estudo a apenas o reservatório por motivos que serão abordados no escopo deste estudo (item 5.2.3).

Em trabalhos futuros, comparar-se-ão três modelos diferentes de compressores de ar, que possuam a mesma capacidade de armazenamento, porém, com diferentes processos de compressão, são eles: processo de compressão por parafuso, processo de compressão por êmbolo alternativo isento de lubrificante (material teflon), e processo de compressão por êmbolo alternativo lubrificado. Deste estudo poderemos saber qual equipamento oferece menor impacto em seu processo produtivo. O reservatório é o mesmo nos três casos, por este motivo, esta pesquisa também objetiva contribuir para este estudo comparativo.

Um dos modelos é o CSL20BR/200L, equipamento abordado neste TCC).

Outra intenção, é que esta ACV possa ter aplicabilidade na empresa onde ocorre a pesquisa para poder funcionar como um “manual” para futuros estudos, independente do sistema de produto abordado.

Por estes motivos, os resultados serão repassados para o departamento de produtos de compressores da Schulz S/A.

### **5.2. Escopo do Estudo**

O estudo será em um reservatório de ar, componente do Compressor de ar modelo CSL20BR com capacidade de 200L, fabricado pela Schulz S/A, em Joinville, Santa Catarina.

As especificações técnicas do compressor de ar CSL20BR estão expostas na Tabela 5.

Tabela 5. Especificações técnicas do compressor CSL20BR/200L

Modelo	CSL 20 BR / 200L	
Código Produto 220/380 V	922.7759-0	
Deslocamento Teórico	200 pés <sup>3</sup> /min – 566 l/min	
RPM	970	
Pressão de Operação	Mínima	135 lbf/pol <sup>2</sup> – 9,3 bar
	Máxima	175 lbf/pol <sup>2</sup> – 9,3 bar
Unidade Compressora	Nº de estágios	02
	Nº de pistões	02 em linha
Motor	Potência	5 hp – 3,7 kW
	Nº de Pólos	02
	Tensão (V)	Trifásico 220/380V
Volume do Reservatório	183 L	
Volume de Óleo	1000 ml	
Peso Bruto	177 Kg	
Peso Líquido	129 Kg	
Dimensões	Largura	500 mm
	Altura	1020 mm
	Comprimento	1305 mm
Nível de Ruído	84 dB (medido a um metro de distância)	

Fonte: [www.Schulz.com.br](http://www.Schulz.com.br), 2010.

### 5.2.1. Função do Sistema de Produto

A função deste sistema de produto é armazenar ar comprimido.

### 5.2.2. Unidade Funcional

A unidade funcional é 200 litros de ar armazenado, que é a capacidade de um reservatório. Podemos doravante tratar da unidade funcional como Um Reservatório.

No estudo comparativo, pelo fato dos três compressores utilizarem o mesmo reservatório em sua composição, este componente não influenciará nos números finais. Não obstante, deverá ser computado para garantir a veracidade do estudo.

### 5.2.3. Limitação do Sistema

Apoiando-se na frase “*menos é melhor*” (CHEHEBE, 2002), este estudo de ACV compreenderá a aquisição das matérias-primas e posterior fabricação (Figura 19) do reservatório de ar, um dos principais componentes de um compressor. Portanto, será um estudo “do berço ao portão”, da aquisição de matéria prima até o portão da fábrica/indústria (produto pronto).

O principal motivo para se limitar um estudo de ACV é a indisponibilidade de dados ou dificuldade de levantá-los para realização do ICV. Esta deficiência reflete na etapa de AICV, como colocaram

Barbosa, et al (2008): “Em relação aos obstáculos em implementar a ACV, destacam-se a falta de banco de dados sobre os impactos ambientais, de acordo com a realidade brasileira...”

Apesar de o componente reservatório (Figura 18) ser uma porção da totalidade do produto, compreende uma grande parte das atividades de produção de um compressor dentro da Schulz S/A. Os demais componentes já chegam à fábrica manufaturados e são, na maioria das vezes, apenas montados.

No caso comparativo, como futuramente pretende-se realizar, este estudo poderá ser aplicado para os três tipos de compressores, já que estes utilizam o mesmo reservatório (volume de 200 litros).



Figura 18. Destaque para o componente reservatório de um compressor. *Fonte: www.schulz.com.br, 2010.*

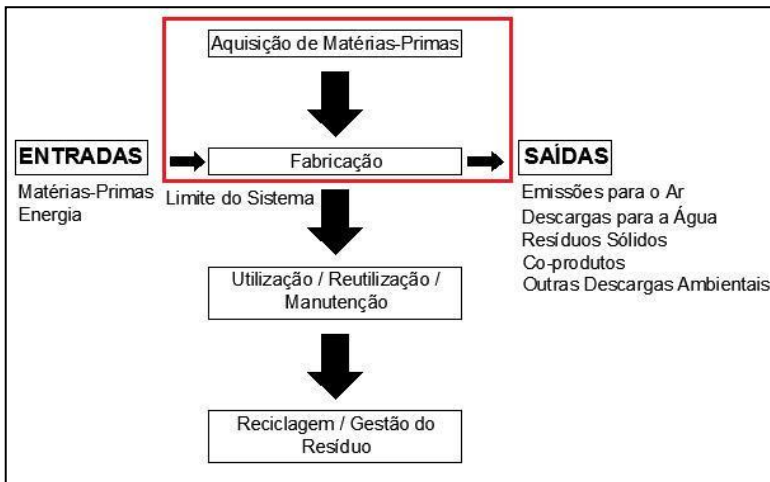


Figura 19. Limitação do Sistema abordado neste TCC.

#### 5.2.4. Processo Produtivo

Para mais fácil entendimento, o processo produtivo foi dividido em cinco macro-processos (Figura 20). Cada “macro-processo” possui seus processos elementares.

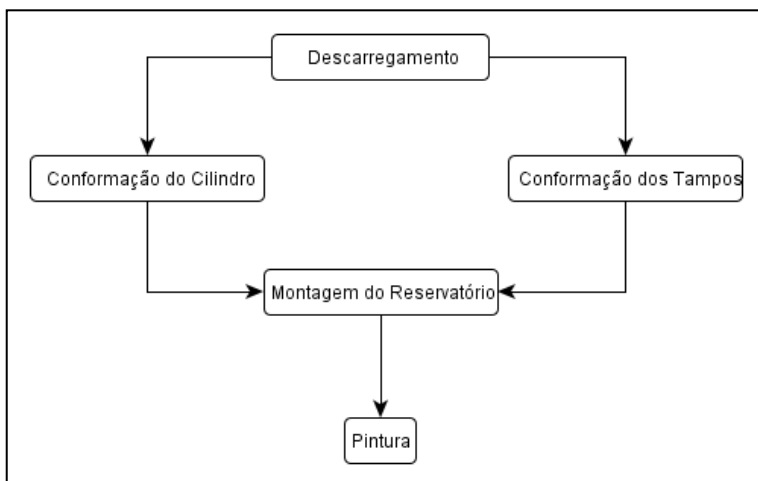


Figura 20. Macro-processos do processo produtivo de um reservatório.

##### a) Descarregamento

Compreende os processos elementares de Descarregamento e de Estocagem, que é basicamente a chegada das chapas metálicas na

fábrica, através de transporte rodoviário, e o descarregamento das mesmas com o auxílio de uma ponte rolante que opera com energia elétrica.

As entradas desta etapa podem ser visualizadas na Figura 21, este processo não gera saídas.

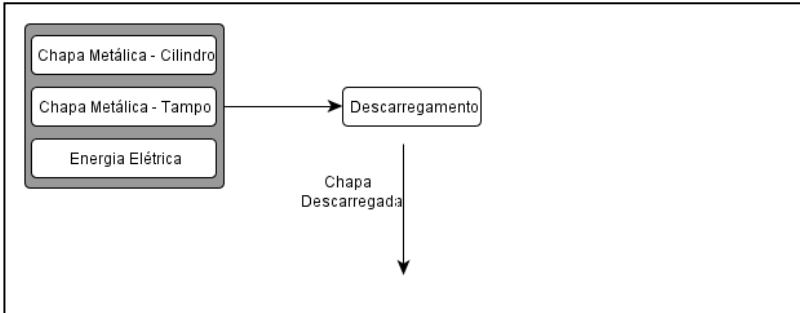


Figura 21. Processo elementar de descarregamento de chapas e suas entradas.

Já o processo de estocagem contempla uma inspeção de qualidade que seleciona e descarta as chapas avariadas, geralmente de final e início de bobina. Para a movimentação das chapas, o operador também conta com a ponte rolante.

Com o término da estocagem, a linha de produção é dividida para a conformação cilíndrica e para a conformação dos tampo (Figura 23).

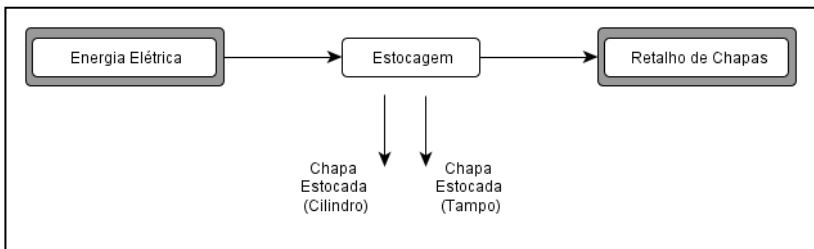


Figura 22. Processo elementar de estocagem, entradas e saídas.

#### b) Conformação do Cilindro

Compreende os processos elementares de Corte de Plasma, Calandragem e de Soldagem Longitudinal. As chapas que são trazidas do setor de estocagem pela empilhadeira a gás, passam por um processo de corte a plasma antes de serem conformadas no formato cilíndrico. O corte a plasma introduzirá na chapa os orifícios de entrada e de saída do ar no reservatório, bem como o orifício do dreno (Figura 24 e Figura 25).

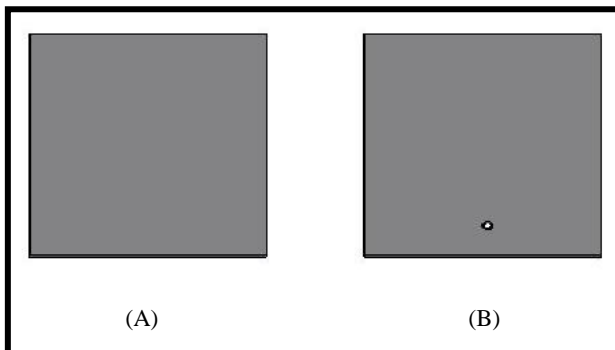


Figura 23. Representação tridimensional do processo de corte a plasma. No primeiro momento a chapa metálica inteira (A). Em um segundo momento a chapa com o orifício após corte de plasma (B).

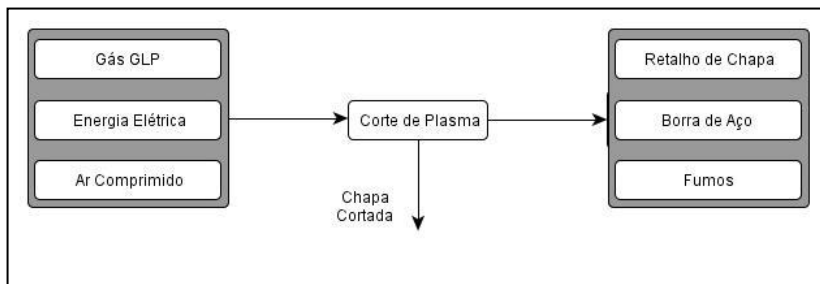


Figura 24. Processo elementar de corte a plasma, entradas e saídas.

A calandragem é um processo de conformação da chapa em formato cilíndrico (Figura 26) através da passagem das mesmas por um equipamento elétrico. Assim que a chapa sai do equipamento de calandragem, o operador solda as extremidades do cilindro e acrescenta o “bacalhau” (Figura 27).

O “bacalhau” é a sobra de chapa da máquina de corte a guilhotina e serve para garantir que a soldagem longitudinal possua as suas extremidades lineares. O processo de soldagem utilizado é o TIG.

Ferramentas de apoio para manipulação do cilindro e operação de ferramentas funcionam através de ar comprimido fornecido para toda a fábrica.

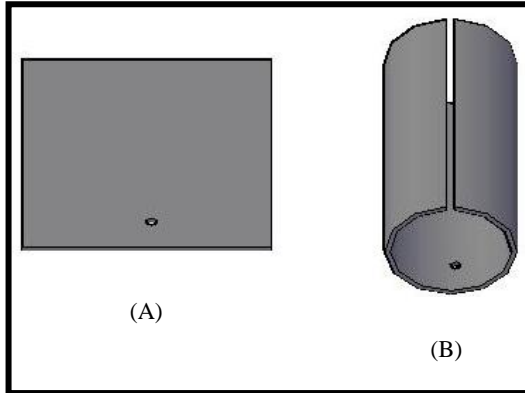


Figura 25. Representação tridimensional do comportamento da chapa durante o processo de calandragem. Em um primeiro momento, a chapa reta (A). Em um segundo, a chapa em formato cilíndrico após a calandragem (B).

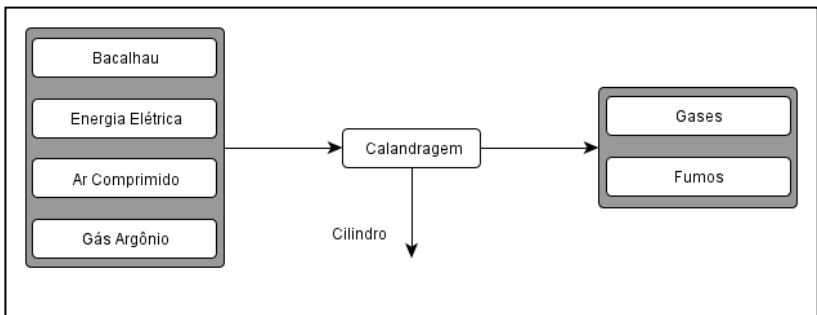


Figura 26. Processo elementar de calandragem, entradas e saídas.

O corpo cilíndrico do reservatório passa pela soldagem longitudinal (Figura 27), através do processo de solda arco-submerso.

Para mais fácil entendimento, a Figura 28 ilustra as entradas e saídas desta unidade do processo.

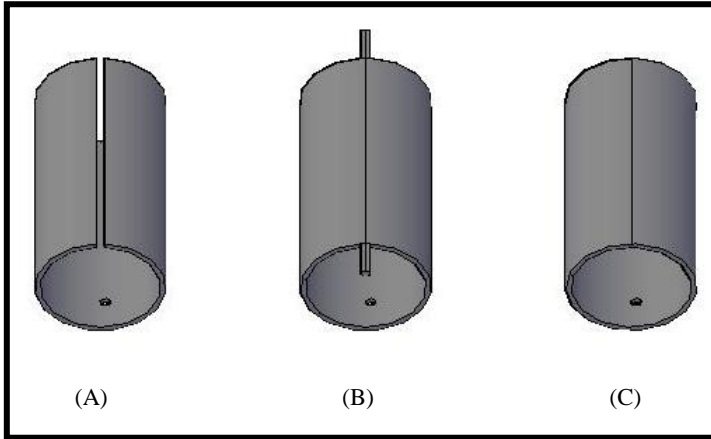


Figura 27. Representação tridimensional do comportamento da chapa quando através do processo de solda longitudinal. No primeiro momento o corpo cilíndrico após calandragem (A). Em um segundo momento, o cilindro é soldado nas pontas e acrescido dos bacalhaus (B). E por último após a soldagem longitudinal e retirada dos bacalhaus que passam a serem sobras de chapa (C).

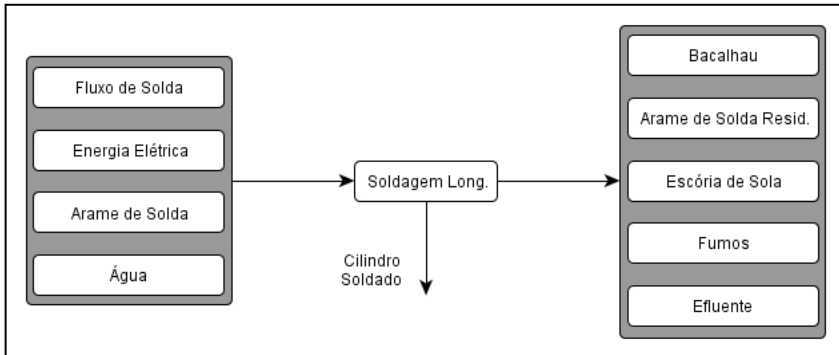


Figura 28. Processo unitário de soldagem longitudinal, entradas e saídas.

### c) Conformação dos Tampos

Compreende os processos elementares de Corte de Guilhotina, Corte Circular, Prensagem Hidráulica, Lavagem de Tampos e Rebordo.

Através de um equipamento chamado de Guilhotina, nesta unidade do processo a placa metálica destinada à conformação dos tampos é cortada em quatro unidades (Figura 29).

O Reservatório estudado, não gera quaisquer sobras de chapas, entretanto a energia elétrica é necessária para operá-la (Figura 30).



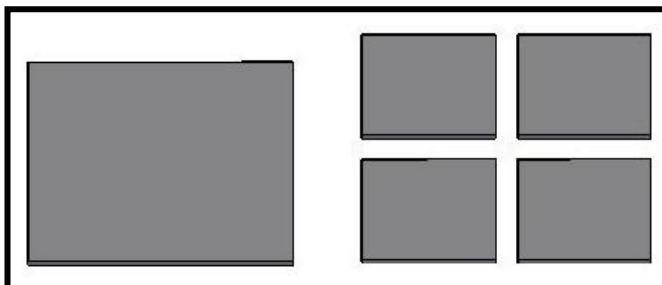


Figura 29. Representação tridimensional do comportamento da chapa destinada a conformação dos tampos no processo de corte de guilhotina.

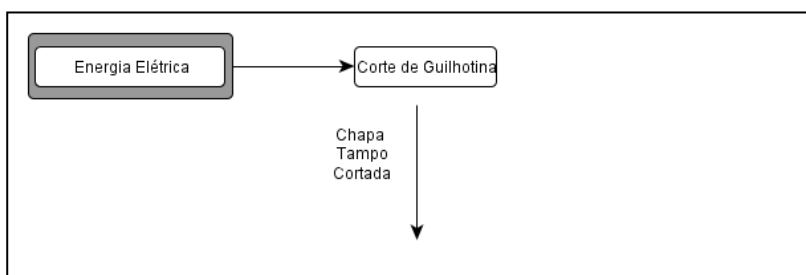


Figura 30. Processo unitário de corte de guilhotina, entradas e saídas.

As chapas que passaram pela guilhotina são transformadas em unidades circulares através de o equipamento tesoura circular (Figura 31). Para operá-la, o funcionário necessita de ferramentas pneumáticas e de energia elétrica (entradas). Deste processo resultam os retalhos da chapa (saídas). (Figura 32).

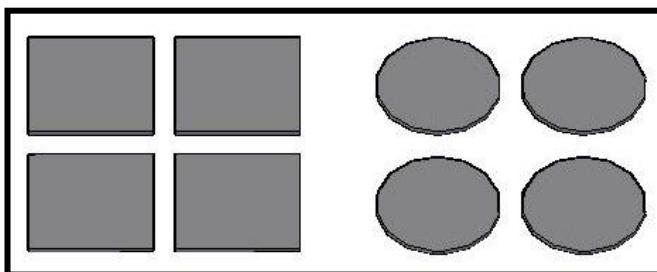


Figura 31. Representação tridimensional do comportamento da chapa metálica no processamento de corte circular.

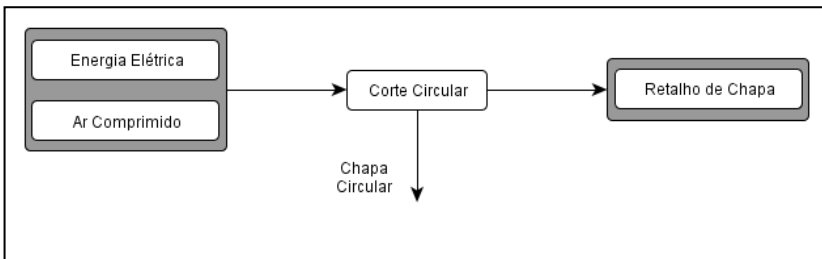


Figura 32. Processo de corte circular, fluxo de entradas e saídas.

A Prensagem Hidráulica (Figura 34Figura 33) transforma as chapas circulares planas nas formas arredondadas características das extremidades deste reservatório (Figura 34). O óleo de repuxo tem por finalidade lubrificá-la.

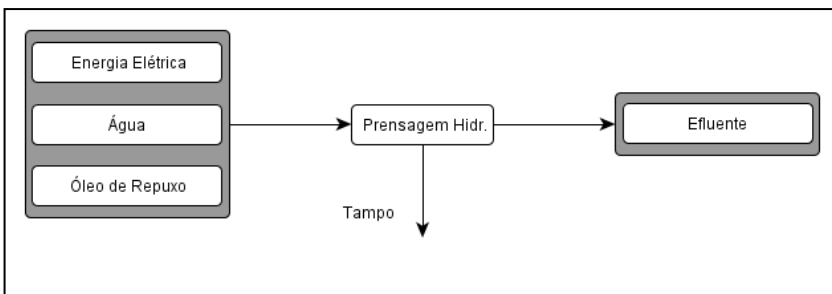


Figura 33. Processo unitário de prensagem hidráulica dos tampos, suas entradas e suas saídas.

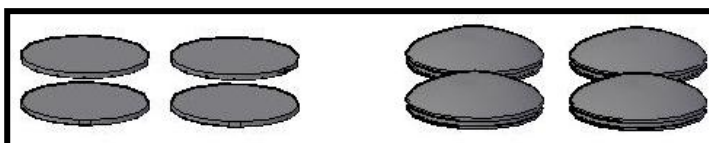


Figura 34. Representação tridimensional da chapa metálica que é prensada hidráulicamente.

A Lavagem dos Tampos é o processo utilizado para remover o óleo de repuxo das peças. As entradas são energia elétrica, água e produto de limpeza.

Como saída, tem-se uma solução saturada composta por água, óleo de repuxo e detergente, conforme ilustrado na Figura 35

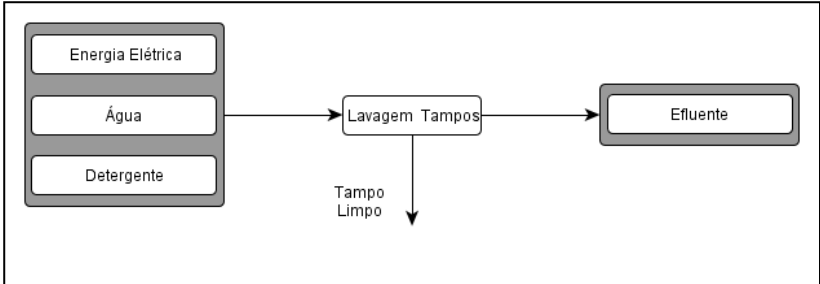


Figura 35. Processo de lavagem de tampos e seus fluxos elementares.

No Rebordo, o operador dá acabamento final às bordas dos tampos. A região do tampo que passa por este acabamento recebe uma camada de desengraxante e a estopa utilizada para realizar esta tarefa segue para uma empresa que as lava e as devolve à Schulz, retornando à linha de produção.

As entradas e saídas desta unidade do processo podem ser verificadas na Figura 36.

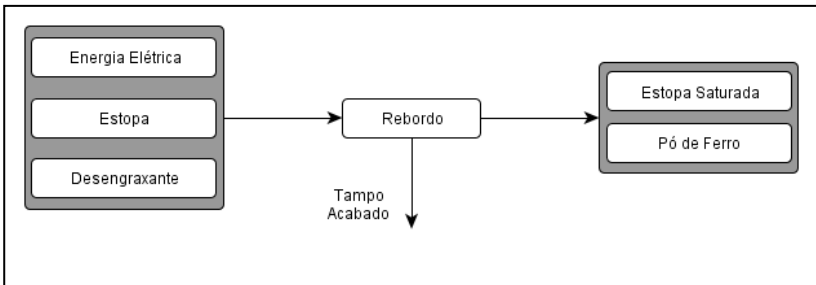


Figura 36. Fluxos elementares do processo de rebordo dos tampos.

#### d) Reservatório

O macro-processo de Montagem de Reservatório compreende: Montagem de Tampo, Soldagem Circunferencial, Colocação do Pé/Base/Conexão e Teste Hidrostático.

A montagem de tampo (Figura 37) é uma unidade do processo que utiliza o método de soldagem MIG para pré fixar os tampos ao cilindro. Estes tampos serão soldados na totalidade do seu encaixe na seqüência da cadeia de produção na etapa de soldagem circunferencial. Nesta mesma etapa da produção do reservatório, uma conexão é soldada ao corpo cilíndrico (referente ao que no futuro será o dreno de condensado) (Figura 38).

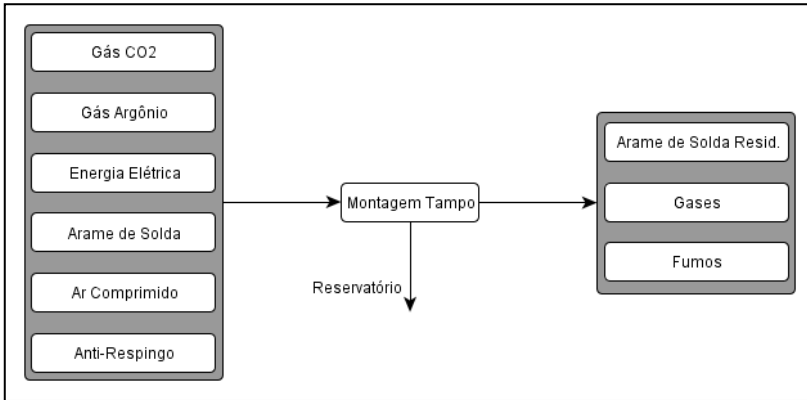


Figura 37. Processo de montagem de tampo, suas entradas e saídas.

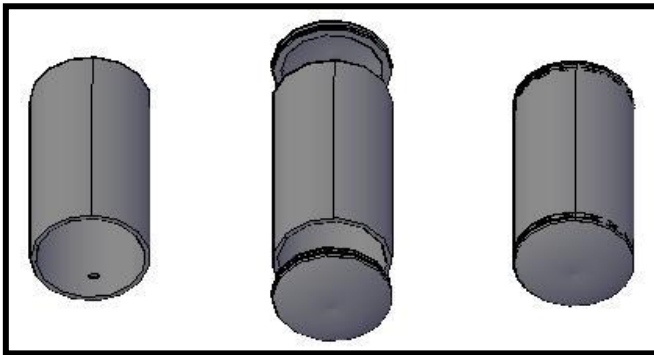


Figura 38. Esquema tridimensional da soldagem dos tampos ao corpo cilíndrico do reservatório.

Através da Soldagem Circunferencial (Figura 39), os tampos são fixados integralmente ao corpo do cilindro. A tecnologia de soldagem utilizada neste processo é a mesma da etapa de Soldagem Longitudinal, por arco submerso.

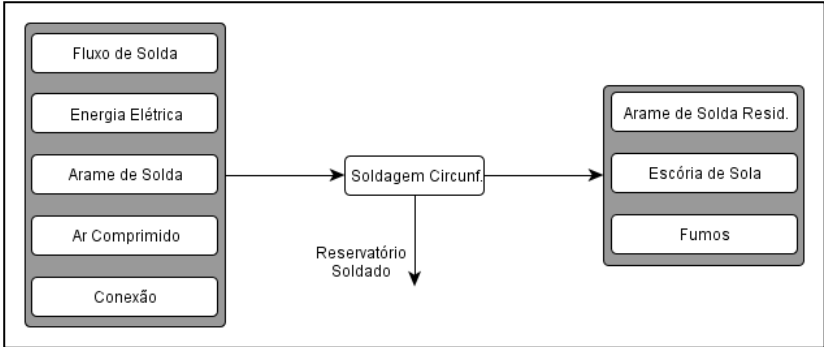


Figura 39. Processo unitário de soldagem circunferencial e seus fluxos elementares.

Na seqüência, ocorre a Colocação do Pé, da Base e das Conexões do reservatório (Figura 40 e Figura 41). O Pé é o apoio do compressor para estabilizá-lo no solo enquanto que a base é o assessorio que fornece escora para a montagem do motor e da unidade compressora. As conexões serão as entradas para as serpentinas.

Estas três peças provêm de fornecedores externos, e são fixadas através do processo de soldagem MIG.

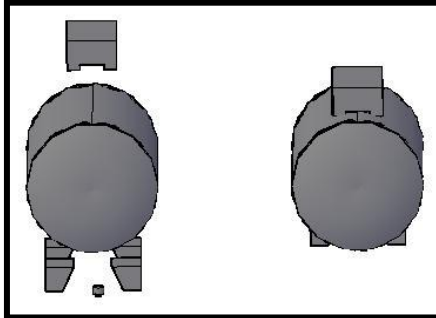


Figura 40. Desenho tridimensional do processo de soldagem das peças: pé, base e conexão.

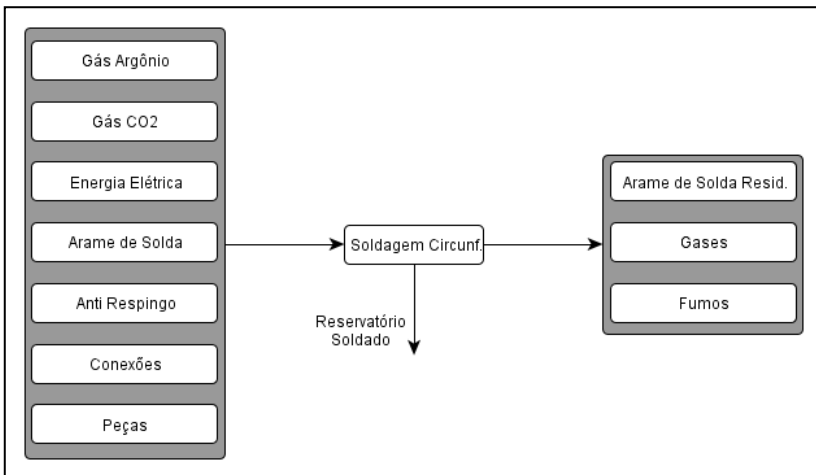


Figura 41. Fluxos elementares do processo de colocação dos componentes: pé, base e conexão do reservatório.

Por fim, o Teste Hidrostático (Figura 42) serve para garantir a segurança dos reservatórios. Aqui, uma combinação de água e produto antioxidante (anti-cor) é inserida em cada reservatório à pressão máxima especificada pelo projeto. Esta mistura pressurizada permanece no interior dos reservatórios por determinado tempo, e o operador, quando encontra algum vazamento, envia a peça para o retrabalho.

Uma plaqueta de identificação é então rebitada ao corpo do reservatório.

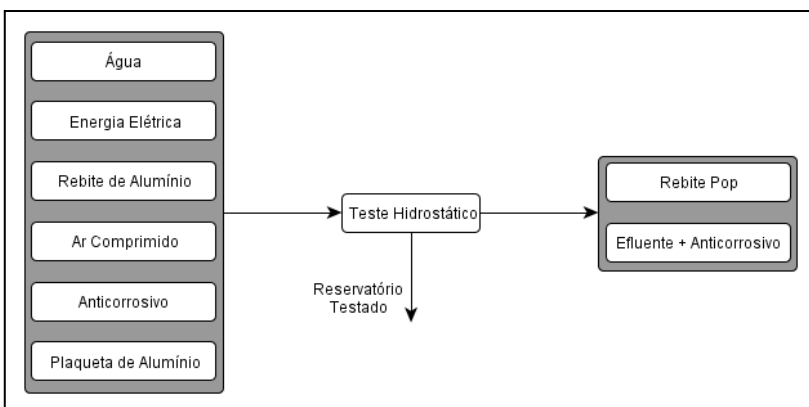


Figura 42. Processo de teste hidrostático, suas entradas e saídas.

e) Pintura

O macro-processo de pintura engloba os processos unitários de: Carga, Jateamento de Granalha, Limpeza, Pintura a Pó, Secagem, Pré Descarga e Descarga.

A Carga é a preparação do reservatório para a pintura (Figura 43). Aqui eles são acoplados à correia de movimentação e a plaqueta de identificação é protegida do processo de jateamento através da colocação de fita de vinil. Ferramentas pneumáticas apóiam o processo.

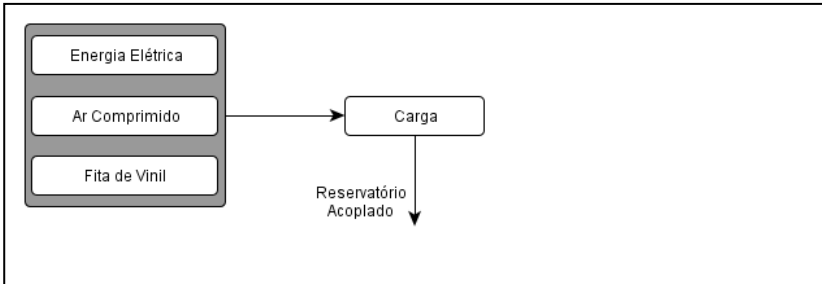


Figura 43. Processo unitário de carga do reservatório.

No Jateamento de Granalha (Figura 44), o reservatório é transportado através da correia aérea e adentra a cabine de jato, sofre então um tratamento superficial para posterior pintura. O pó de granalha residual é captado por um extrator e reservado em um tambor metálico.

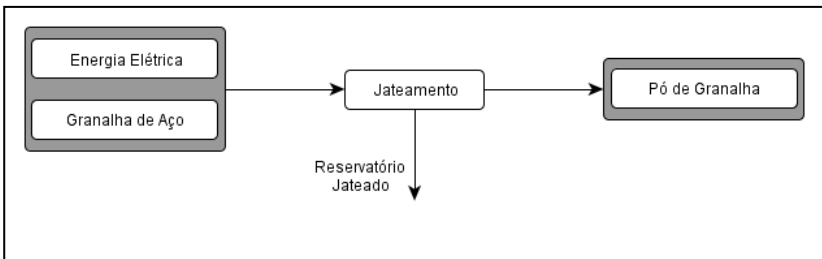


Figura 44. Processo de jateamento de granalha.

Após esta unidade do processo, o reservatório é limpo: retira-se a fita de vinil, e através de instrumentos pneumáticos o excesso de granalha (Figura 45).

Teoricamente toda a granalha que é gerada nesta etapa retorna à cabine de jateamento através de esteiras. No entanto, algumas perdas são inevitáveis, e estas perdas são computadas junto com os resíduos de varrição do chão da fábrica.

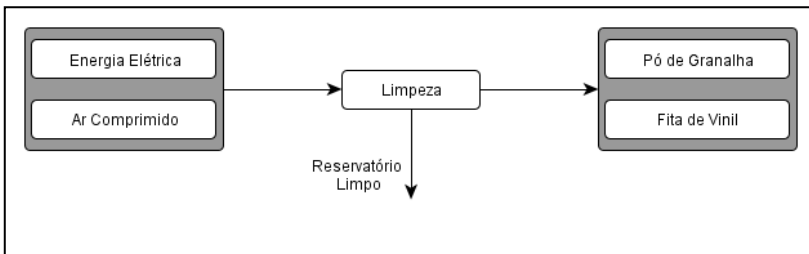


Figura 45. Processo unitário de limpeza do reservatório, entradas e saídas.

A correia transporta então o reservatório por dentro de uma cabine de pintura. Através de jatos de ar comprimido, a tinta em pó é aderida ao reservatório (Figura 46 e Figura 47).

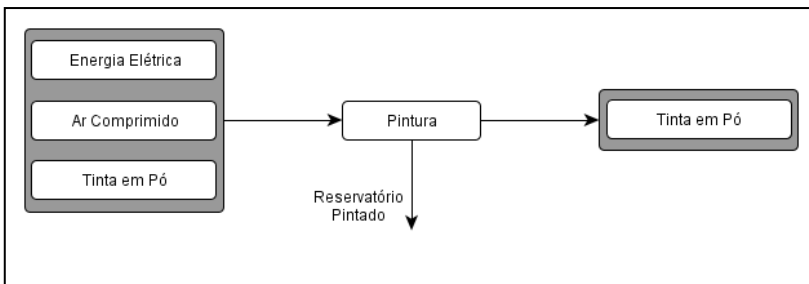


Figura 46. Entradas e saídas do processo de pintura a pó da linha de produção de reservatórios da Schulz S/A.

A secagem é a etapa que fixa a tinta no corpo do componente (Figura 48). A cabine de secagem funciona através da queima de gás natural e de energia elétrica (resistências).

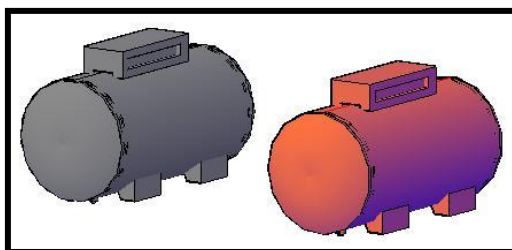


Figura 47. Representação tridimensional da pintura do reservatório.



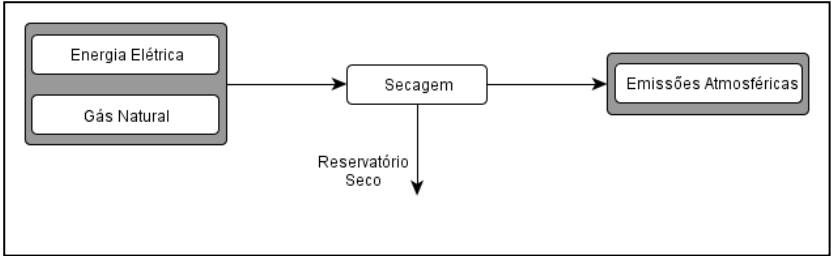


Figura 48. Processo unitário de secagem do reservatório.

A Pré-Descarga (Figura 49 e Figura 50) é a finalização do componente para a posterior montagem do motor e da unidade compressora.

Conforme Tabela 6, algumas peças são adicionadas, a base de madeira é presa a parte inferior do reservatório.

Tabela 6. Componentes acrescentados ao reservatório no processo de pré-descarga.

Item	Descrição Interna	Unidades
Arruela	Ar Lisa B 8,3X29X3,65	4
Porca	Por Sext 5/16*NC G	4
Purgador	Purg 1/4* NPT Saída Inferior	1
Base de Madeira	Base Mad Res H 200L c/ Plástico	1

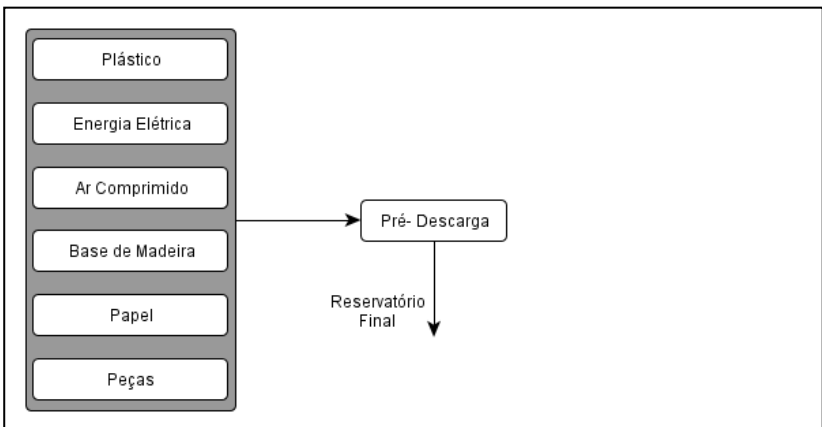


Figura 49. Unidade do processo Pré Descarga, suas entradas.

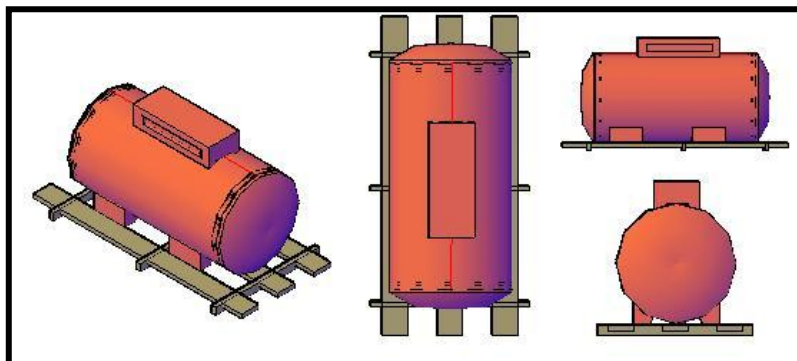


Figura 50. Representação tridimensional do compressor após pré descarga.

### 5.3. Coleta de Dados

Os dados coletados são apenas os dados primários, uma vez que os dados secundários foram fornecidos pela base de dados do Ecoinvent.

#### 5.3.1. Produção

Neste estudo levou-se em consideração a produção de reservatórios dos anos de 2009 e 2010 até meados do mês de abril. Conforme o setor Planejamento e Controle de Produção e Manutenção (PCPM) da divisão de compressores da Schulz S/A, no ano de 2009 foram produzidos 3966 reservatórios que compreenderam parte do compressor CSL 20BR. Enquanto que a produção parcial do ano de 2010 foi de 1240 reservatórios.

Os valores de produção foram levantados tanto na linha industrial de produção, quanto na fábrica de compressores (que compreende todas as linhas de produção). A linha industrial compreende os reservatórios cujos processos de fabricação são idênticos ao do reservatório aqui estudado.

Os dados de produção são essenciais para a divisão de consumos e gerações de resíduos. Ainda, acrescentam valores aos números uma vez que receberão tratamento estatístico durante longos períodos (até 16 meses) diminuindo as variações e aproximando os valores do número mais realista.

#### 5.3.2. Refugo

Segundo informação verbal<sup>7</sup>, o número de unidades descartadas, por quaisquer motivos que o impossibilitem de ser utilizado para o seu propósito é de duas unidades por ano.

<sup>7</sup> Informações obtidas com funcionários da linha industrial da Schulz S/A.

Os reservatórios descartados, também chamados de refugo, são destinados para os fornos de fundição da própria Schulz, após processo de sucateamento.

A Tabela 7 demonstra em números a produção e o refugo desta linha de produção. Cerca de 0,05% do total é então descartado como sucata.

Na computação dos dados, será necessário acrescentar 0,05% de cada entrada. Em outras palavras, para que um reservatório chegue ao final do processo como produto final, 1,0005 do total de cada entrada deverá ser inserida no processo.

Tabela 7. Produção e refugo do reservatório 789.

<b>Período</b>	<b>Produção (unidade)</b>	<b>Refugo (unidade)</b>	<b>Porcentual Refugo</b>
Média Mensal	320	0,17	0,05%
Média Anual	4000	2,0	0,05%

### 5.3.3. *Tratamento dos Dados*

Os dados secundários, oriundos da base de dados do Ecoinvent não precisaram de quaisquer tratamentos uma vez que são computados conforme conveniência do projeto.

Quanto aos dados primários, existem seis qualidades de informação de interesse deste trabalho que foram levantadas no mês de abril de 2010.

A primeira delas são as informações de um produto, como por exemplo, o consumo de gás argônio consumido no processo de produção de um reservatório 789 componente do compressor CSL 20BR. Estes valores são fornecidos pelos setores de engenharia e desenvolvimento de compressores e de processos de produção. Neste caso a informação não sofre quaisquer tratamentos estatísticos, uma vez que o controle de produção é bastante rígido e controlado.

Nesta situação se encaixam: consumos de gás argônio e CO<sub>2</sub>, consumo de tinta em pó no processo de pintura, consumo de arame de soldagem, consumo de fluxo de solda, informações respectivas às chapas metálicas (planos de corte), peças unitárias como porcas, arruelas e papel.

A segunda são os dados obtidos na linha de produção. Estes foram coletados e pesados em balanças de precisão. O tratamento estatístico limitou-se a médias aritméticas (Tabela 8).

Aqui foram contabilizados: as sobras de chapa (bacalhaus) tanto no consumo, quanto na geração (após processo de soldagem longitudinal) tais como: as peças como Pés, Base e conexões que são

soldadas, rebites e plaquetas de alumínio consumidos no teste hidrostático e seu posterior rebite Pop residual, fita de vinil consumida na carga (fase de pintura) e a geração de fita de vinil (retirada na limpeza), base de madeira fixada ao reservatório na pré descarga, geração de sobras de chapa do corte de plasma, retalhos de chapas do corte circular e consumo de estopas do rebordeamento. Ainda, peças como parafusos, arruelas, porcas e purgadores que são atreladas ao produto na pré-descarga.

Tabela 8. Coletas e médias.

<b>Insumo ou Resíduo</b>	<b>Tratamento Estatístico (média)</b>
Consumo de Bacalhaus	10 unidades
Geração de Bacalhaus	10 unidades
Pé	5 unidades
Base	5 unidades
Conexões	10 unidades
Parafusos, Porcas, Arruelas e Purgadores	10 unidades
Rebite	10 unidades
Plaqueta	10 unidades
Geração de Rebite Pop	10 unidades
Consumo de Fita de Vinil	10 unidades
Geração de Fita de Vinil	10 unidades
Base de Madeira	2 unidades
Sobra de Chapa	5 gerações
Estopa	10 unidades
Retalhos de Chapa	5 unidades
Plástico	500 unidades
Papel	500 unidades

A terceira coleta de dados foram aquelas que necessitaram de um tratamento estatístico mais elaborado. Nesta situação todos os dados precisaram ser divididos por algum tipo de produção da fábrica. Aqui se enquadram os dados repassados pelos setores de compra de produtos, linha de produção, manutenção de equipamentos, almoxarifados e central de descartes.

O setor de manutenção levantou o consumo de água das máquinas da linha de produção do reservatório (Tabela 9), e, por conseguinte a geração de efluentes (Tabela 10). Estes possuem uma reposição periódica e, portanto, cada situação pode ser dividida pela produção média mensal, contabilizado período de 2009 e parcial até abril de 2010.

Tabela 9. Consumo de água (m³) dos processos de produção do reservatório 789.

<b>Etapa/Equipamento</b>	<b>Reposição (L)</b>	<b>Período de Operação (d)</b>	<b>Consumo (L/reser.)</b>
Prensa Hidráulica	1000	90	0,617
Lavadora de Tampos	500	120	0,231
Soldagem Longitudinal	1000	90	0,308
Teste Hidrostático	2000	120	0,463

Tabela 10. Geração de efluentes nos processos de produção do reservatório 789.

<b>Etapa/Equipamento</b>	<b>Geração (L)</b>	<b>Período de Operação (d)</b>	<b>Geração (L/reser.)</b>
Prensa Hidráulica	1000	90	0,617
Lavadora de Tampos	500	120	0,308
Soldagem Longitudinal	1000	90	0,308
Teste Hidrostático	2000	120	0,509

A informação relativa ao consumo de produtos químicos (anti-respingo, óleo de repuxo, desengraxante, anti-corrosivo), consumo de gás natural e consumo de estopa, foram obtidos a partir dos setores de requisição destes produtos e/ou junto ao operador do equipamento. Todos são repostos periodicamente, permitindo dividi-los pela produção mensal de reservatórios, encontrando valor consumido por unidade funcional produzida.

A tabela abaixo demonstra seu consumo e geração residual por unidade produzida.

Tabela 11. Consumos de produtos químicos e seus tratamentos estatísticos.

<b>Etapa/Equipamento</b>	<b>Produto</b>	<b>Pedido de Compra (L/mês)</b>	<b>Consumo por Reser.(L)</b>
Prensagem Hidráulica	Óleo de Repuxo	80	0,0722
Rebordo	Desengraxante	240	0,232
Processos de Soldagem Mig	Anti-respingo	75	0,0745
Teste Hidrostático	Anti-corrosivo	50	0,0463

O consumo de combustível de empilhadeiras foi repassado pelo almoxarifado de produtos inflamáveis na unidade de Kg de combustível consumido por tempo de operação. Para precisar o valor por unidade bastou cronometrar o tempo de operação desta atividade e o número de chapas transportadas.

Consumo de granalha para o jateamento foi levantada pelo setor de produção e também dividido pela produção mensal de reservatórios.

Grande parte dos valores de resíduos gerados foi obtida através do programa utilizado na Schulz, denominado de Isodoc, mais especificamente para resíduos dentro do Isodoc, o Web Resíduos. É

dentro deste programa que a gerência da central de descartes computa todos os dados de geração de resíduos, separados por tipo de resíduos, e dentro destes, por pontos geradores dentro da fábrica.

Neste estudo, dois tipos de áreas de geração tiveram que ser consideradas. A geração na linha industrial, onde os resíduos foram divididos pela produção de reservatórios apenas na linha industrial, e a geração na Fábrica de compressores, que levou em conta toda a produção de reservatórios (inclusive da linha industrial). Aqui, dados como geração de resíduos da soldagem (escória e arame de solda residual), pó de granalha e tinta em pó foram obtidos (Tabela 11).

A energia elétrica deve ser classificada separadamente, então como uma quarta qualidade. Foi medida na linha de produção com o auxílio do setor de manutenção de equipamentos e através do uso de um medidor de corrente elétrica (amperímetro) e ainda, sofreu tratamento estatístico. Em posse do valor da corrente, da voltagem, do tempo de operação e do número de reservatórios e/ou tampos no processo, pôde-se levantar o consumo de energia por peça produzida.

Tabela 12. Consumos de energia elétrica a uma voltagem de 380 Volts.

Equipamento/Etapa	Processo	Cor. (A)	Potência (W)	$\Delta t$ (s)	Consumo Energia (kW.h)
Ponte Rolante	Descarregamento de chapas	50,00	19000,00	3	0,0158
Guilhotina	Corte de guilhotina	32,00	12160,00	3	0,0101
Tesoura Circular	Corte circular	12,00	4560,00	60	0,0760
Prensa Hidráulica	Prensagem dos tampos	168,00	63840,00	56	0,9931
Lavadora de tampos	Lavação dos tampos	80,00	30400,00	180	1,5200
Rebordeadeira	Rebordo dos tampos	46,20	17556,00	80	0,3901
Corte de plasma	Corte de plasma	6,60	2508,00	60	0,0418
Calandragem	Calandragem (cilindro)	75,00	28500,00	35	0,2771
Solda Longitudinal	Soldagem longitudinal	4,50	1710,00	40	0,0190
Montagem de tampo	Montagem de tampo	7,80	2964,00	30	0,0247
Solda Circunferencial	Soldagem circunferencial	5,40	2052,00	45	0,0257
Solda do Pé, Base e Conexão	Soldagem dos componentes	63,00	23940,00	60	0,3990
Teste Hidrostático	de teste	50,00	19000,00	60	0,3167

Equipamento/Etapa	Processo	Cor. (A)	Potência (W)	$\Delta t$ (s)	Consumo Energia (kW.h)
Correia Aérea da Pintura	Movimentação do reservatório	7,50	2850,00	120	0,0950
Cabine de Jato de Granalha	Jateamento de granalha	150,00	57000,00	90	1,4250
Cabine de Limpeza	Limpeza do reservatório	80,00	30400,00	40	0,3378
Cabine de Jato de Pintura	Pintura do reservatório	66,00	25080,00	40	0,2787
Cabine de Secagem	Secagem do reservatório	70,00	26600,00	60	0,4433

A quinta qualidade de informação, são os transportes externos das principais matérias-primas. Foram levantadas de acordo com informações dos funcionários do recebimento de materiais na linha de produção, e com o auxílio do Google Maps, que sugere uma rota (em km) entre duas cidades (Tabela 13).

Tabela 13. Distâncias e transportes das principais matérias primas.

Insumo	Origem	Destino	Dist. Percorrida*	Transporte	Combustível
Chapas	Congonhas-MG	Joinville-SC	1095 km	Carreta Grande Porte	Óleo Diesel
Base de Madeira	Garuva-SC	Joinville-SC	40 km	Caminhão Grande Porte	Óleo Diesel

\*Fonte: Google maps, 2010.

Por último, a sexta qualidade, o ar comprimido foi levantado através dos dados técnicos do compressor industrial instalado na Schulz e que fornece o ar pressurizado para toda a fábrica. O modelo utilizado é o SRP 3100 eletrônico.

Segunda a sua ficha técnica<sup>8</sup>, ele fornece uma pressão máxima de 9,0 bar e um deslocamento teórico (vazão teórica de ar) de 12,6 m<sup>3</sup>/min.

Assim, em posse da vazão teórica disponível e do tempo de operação dos equipamentos e ferramentas, pode-se estimar um volume utilizado.

#### 5.3.4. Não Coletados

Neste presente estudo, algumas entradas e saídas do processo produtivo do reservatório 789 não foram consideradas, seja por dificuldade de coleta ou pela pouca representabilidade no montante final. Entre elas há o consumo de detergente no processo de limpeza de

<sup>8</sup> Disponível em [www.schulz.com.br](http://www.schulz.com.br).

tampas, geração de pó de aço nos processos de rebordo e corte de plasma, transporte de algumas matérias-primas, fumos e gases dos processos de soldagem, e emissões atmosféricas do processo de secagem.

O detergente não foi considerado no levantamento de dados pois, segundo o supervisor de produção, este produto está em fase de estudos para possível substituição.

Já a geração de pó de aço é irrisória por produção de reservatório, se comparado com a geração de retalhos e sobras de chapa nas mesmas etapas (constituição do material do pó de aço). Também não existem quaisquer controles de geração deste resíduo, sendo descartado junto com a varrição de chão de fábrica.

Os transportes externos não foram levados em conta para pequenas representações das entradas. Contabilizados aqui, apenas as entradas principais (chapas metálicas e base de madeira), que correspondem a cerca de 77,11 kg do produto, após pré-descarga, ou seja, 96,75% do reservatório final.

As demais saídas, todas gasosas, não foram computadas por dificuldade de coleta. No caso dos fumos, gases e emissões, seria necessário a utilização de equipamentos especializados para a sua captação. Além disto, a sua coleta poderia causar atraso no processo de fabricação devido a sua complexidade.

Não computar dados neste estudo não significa desconsiderá-los, muito pelo contrário, deve-se descrevê-los e justificá-los. Posteriormente, se necessário, este estudo poderá ser completado e/ou melhorado.

#### *5.3.5. Inventário de Ciclo de Vida*

O inventário é constituído de dados de entrada e saída do sistema de produção de reservatórios da empresa. Nada mais é do que a compilação dos valores de matérias e energias que entram e saem deste sistema dentro do volume de controle ou de suas fronteiras.

O inventário está dividido pelos processos unitários. As duas tabelas a seguir (Tabela 14 e Tabela 15) demonstram as entradas e as saídas da produção de uma maneira geral, o que entra e o que sai no sistema para produzir um reservatório, objeto deste estudo.



Tabela 14. Tabela de entradas geral para a fabricação de uma unidade funcional.

<b>Entradas</b>	<b>Descrição Técnica</b>	<b>Valor</b>	<b>Unid.</b>	<b>Material</b>
<b>Água</b>	Água tratada proveniente de rede pública	1,7006	L / reserv.	Líquido
<b>Anti-Core</b>	Substância anti corrosiva	0,0486	L / reserv.	Líquido
<b>Anti-Respingo Ecológico</b>	Atóxico, isento de silicone e solúvel em água)	0,0752	L / reserv.	Spray
<b>Ar Comprimido</b>	Ar atmosférico	24,57	M <sup>3</sup>	Ar
<b>Arame de Solda 0,9 mm</b>	Arame de solda composto por cobre	0,4216	kg / reserv.	Arame
<b>Arame de Solda 1,98 mm</b>	Arame de solda composto por cobre	1,262	kg / reserv.	Arame
<b>Bacalhau</b>	Composto por retalhos de chapas	0,164	kg / reserv.	Aço Baixo Carb.
<b>Base</b>	Chapas reprovadas na estocagem	8,1	kg / reserv.	Aço Baixo Carb.
<b>Base de Madeira</b>	Madeira de reflorestamento	9,8	kg / reserv.	Madeira
<b>Chapa Met. (Cilindro)</b>	Chapa de aço de baixo carbono	39,841	kg / reserv.	Aço Baixo Carb.
<b>Chapa Met. (Tampas)</b>	Chapa de aço de baixo carbono	23,1	kg / reserv.	Aço Baixo Carb.
<b>Conexões</b>	Componentes de Aço	0,2313	kg / reserv.	Aço
<b>Desengraxante</b>	Material oleoso	0,232	L / reserv.	Líquido
<b>Energia Elétrica</b>	Energia proveniente da rede pública	6,7	kW h/reserv.	Energia Elétrica
<b>Estopa</b>	Estopa de tecido	0,174	kg / reserv.	Tecido
<b>Fita de Vinil</b>	Fita adesiva de vinil	0,0045	kg / reserv.	Fita de vinil
<b>Fluxo</b>	Material granulado	1,162	kg / reserv.	Fluxo granulado
<b>Granalha de Aço</b>	Partículas de aço	1,1	kg / reserv.	Aço
<b>Gás Argônio</b>	Gás	0,078	m <sup>3</sup> / reserv.	Gás
<b>CO<sub>2</sub></b>	Gás	0,013	kg / reserv.	Gás
<b>Gás Natural</b>	Gás Combustível	2,749	m <sup>3</sup> / reserv.	Gás Natural
<b>Óleo de Repuxo</b>	Material oleoso para lubrificar a prensa	0,077	L / reserv.	Óleo Lubrificante
<b>Pé</b>	Chapas reprovadas na estocagem	3,8	kg / reserv.	Aço Baixo Carb.
<b>Parafusos, Porcas e etc.</b>	Ligas metálicas de baixa qualidade	0,06	kg / reserv.	Liga Metálica
<b>Plaqueta de Alumínio</b>	Alumínio	0,002	kg / reserv.	Alumínio
<b>Plástico</b>	Saco plástico mole transparente	0,0041	kg / reserv.	Polímero.

Entradas	Descrição Técnica	Valor	Unid.	Material
<b>Rebite de Alumínio</b>	Alumínio	0,002	kg / reserv.	Alumínio
<b>Tinta em Pó</b>	Tinta em pó	0,35	kg / reserv.	Pó de Tinta
<b>Transporte Interno</b>	Combustão do Gás GLP	0,00834	kg / reserv.	GLP
<b>Transporte Externo</b>	Combustão do Óleo Diesel	1135	km / reserv.	Óleo Diesel

Tabela 15. Tabela geral de saídas para a fabricação de uma unidade funcional.

Saídas	Descrição Técnica	Valor	Unid.	Destino
<b>Água</b>	Água com perda de qualidade	1,2349	L / reserv.	ETE
<b>Arame de Solda</b>	Arame de cobre restante dos processos de soldagem (troca de rolos, início e final de solda)	0,0357	kg / reserv.	Reciclagem
<b>Bacalhau (sobra de chapa)</b>	Acréscimo de chapa que é soldada e, após, retirada. Mesma composição das Chapas metálicas	0,176	kg / reserv.	Fundição
<b>Borra de Aço</b>	Particulado muito fino	-	-	-
<b>Efluente</b>	Efluente Contaminado destinado tratamento externo	0,5092	L / reserv.	Tratamento
<b>Emissões atmosféricas</b>	Decorrente da queima incompleta do gás natural no processo de secagem	-	-	-
<b>Escória de Solda</b>	Fluxo residual	0,666	kg / reserv.	Aterro
<b>Estopa Saturada</b>	Estopa de pano c/ óleo desengraxante	0,3092	kg / reserv.	Lavação
<b>Fita de Vinil</b>	Fita adesiva de vinil	0,005	kg / reserv.	Aterro
<b>Fumos</b>	Correspondentes aos processos de soldagem e de corte a plasma. <i>Não foi contabilizado neste estudo</i>	-	-	-
<b>Gás Argônio</b>	Processos de soldagem TIG. <i>Não foi contabilizado neste estudo</i>	-	-	-
<b>Gás CO<sub>2</sub></b>	Emissões correspondentes aos processos de soldagem. <i>Não foi contabilizado neste estudo</i>	-	-	-
<b>Granalha de Aço</b>	Pequenas partículas de aço	0,5317	kg / reserv.	Reciclado
<b>Rebite POP</b>	Alumínio residual	0,001	kg / reserv.	Aterro
<b>Retalho de Início e Fim de Bobina</b>	Restos de chapa que não são aprovadas pelo controle de qualidade	2,1	kg / reserv.	Pé e base.
<b>Retalho de Chapa</b>	Restos de chapa	7,7	kg / reserv.	fundição
<b>Sobra de Chapa</b>	Restos de chapa	0,27	kg / reserv.	Fundição

a) Balanço de Massa

O principal objetivo do balanço de massa é garantir a integridade dos dados coletados, sendo que, quaisquer discrepâncias neste cálculo indicarão falhas nos procedimentos de coleta. O cálculo realizado é simples. O que entra no sistema (Tabela 16) é igual ao produto final somado ao que sai do sistema (Tabela 17). Para a produção de uma unidade do reservatório 789 temos a seguinte situação:

Tabela 16. Entradas de matérias primas (kg) do processo de fabricação de um reservatório (unidade funcional) pré-pintura.

<b>Entrada no Sistema</b>	<b>Quantificação</b>
Chapa Cilindro	39,86
Chapa Tampos	23,11
Conexões	0,231
Arame de solda 0,9 mm	0,42
Arame de solda 1,98 mm	1,26
Bacalhau	0,328
Base	8,10
Pés	3,80
Plaqueta de Al	0,002
Rebite de Al	0,002
<b>Total</b>	<b>77,10</b>

Tabela 17. Saídas de resíduos do processo de fabricação (kg) do reservatório 789 pré-pintura.

<b>Saída no Sistema</b>	<b>Quantificação</b>
Retalho de Chapa	7,704
Sobra de Chapa	0,27
Arame de solda	0,036
Bacalhau	0,352
Rebite Pop	0,001
<b>Total</b>	<b>8,4</b>

Um reservatório produzido antes de seguir para a montagem da unidade motriz e unidade compressora sempre recebe o acréscimo de um prontuário contendo informações do lote produzido (daí a entrada de uma folha de papel e de um saco plástico). Uma das informações contidas neste prontuário é o peso médio dos reservatórios do lote.

Segundo informação verbal<sup>9</sup>, o peso médio do reservatório pré-pintura é de 65,6 kg.

Procede-se então o balanço de massa:

<sup>9</sup> Setor de produção de reservatórios.

$$\begin{aligned}\sum \text{Entradas} &= \text{Produto} + \sum \text{Saídas} \\ \text{Produto} &= \sum \text{Entradas} - \sum \text{Saídas} \\ 65,6 \text{ kg} &= 77,10 \text{ kg} - 8,4 \text{ kg} \\ 65,63 \text{ (com refugo)} \text{ kg} &= 68,7 \text{ kg}\end{aligned}$$

O balanço de massa apresenta um número muito próximo do valor do prontuário, com uma diferença percentual de 4,4 %. Pode-se justificar este acréscimo do valor do peso do reservatório pelas “perdas” dos resíduos no momento da coleta. Alguma porcentagem dos resíduos gerados podem ser descartadas segunda outra descrição ou outro setor de geração, já que o controle se dá apenas na central de descartes e não nos pontos geradores.

Possivelmente, um maior cuidado por parte dos operadores pela geração de resíduos no período de coleta de dados pode ter ocorrido. Com a presença dos responsáveis pelos processos e produção e ainda, a coleta na própria linha de produção, os operadores podem ter tido um maior cuidado evitando desperdícios exagerados.

#### b) Processos Unitários

Os processos unitários são: Descarregamento; Estocagem; Corte a Plasma; Calandragem; Soldagem Longitudinal; Corte de Guilhotina; Corte Circular; Prensagem Hidráulica; Lavagem de Tampos; Rebordo; Montagem de Tampo; Soldagem Circunferencial; Colocação de Pé, Base e Conexões; Teste hidrostático; Carga; Jateamento de Granalha; Limpeza; Pintura a Pó; Secagem; Pré-Descarga.

Todas as entradas e saídas apresentadas nas unidades de produção a seguir já computam os dados acrescentados da pequena porcentagem relativa ao refugo. Estes dados já estão tratados de maneira a apresentarem valores relativos à produção de uma unidade funcional (um reservatório 789 componente do compressor CSL BR 200L).

#### ▪ Descarregamento

A entrada de energia neste produto unitário é o gasto da movimentação dos fardos até a área da guilhotina. Ela foi estimada através da utilização de um amperímetro e a medição da corrente elétrica nos equipamentos durante a operação dos mesmos. Em posse da corrente elétrica, da voltagem dos equipamentos e do tempo de operação de cada processo, obteve-se a potência de operação dos equipamentos, bem como seu consumo.

No descarregamento há também a entrada de matéria prima principal da confecção do reservatório, a chapa de aço (Tabela 18). São duas qualidades diferentes de chapas metálicas. Segundo os planos de

cortes das chapas, àquelas destinadas a conformação do cilindro tem peso médio de 39,86 kg, enquanto que as chapas que serão conformadas em tampos pesam em média 46,22 kg. Como cada chapa gera quatro tampos, e cada reservatório necessita de dois tampos em sua conformação, a entrada desta matéria prima é posteriormente dividida por dois.

Tabela 18. Entradas do processo unitário de descarregamento.

<b>Entradas no Sistema</b>			
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>
Chapa - Cilindro	Material da composição é o SA 414 F	39,86	kg
Chapa - Tampo	Material da composição é o ASME 414 E	46,22	kg
Energia elétrica	Operação da Ponte Rolante	0,00791	kW h

Os produtos deste processo são as: chapa-cilindro descarregada (39,86 kg) e chapa-tampo descarregada (46,22 kg). Nesta unidade do processo não são geradas quaisquer saídas.

▪ Estocagem

Na estocagem a energia é utilizada para a movimentação das chapas (Tabela 19). Além disso, é nesta etapa que o controle de qualidade separa as chapas de fim e de início de bobina, gerando esta saída (Tabela 20). Estas chapas, também chamadas de retalhos, serão utilizadas para a conformação de peças como os pés e as bases que serão soldadas ao corpo cilíndrico posteriormente.

Tabela 19. Entradas do processo elementar de estocagem.

<b>Entradas no Sistema</b>			
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>
Energia elétrica	Operação da Ponte Rolante	0,00791	kW h
Chapa-Cilindro Descarregada	Material da composição é o SA 414 F	39,86	kg
Chapa-Tampo Descarregada	Material da composição é o ASME 414 E	46,22	kg

Tabela 20. Saídas do processo elementar de estocagem.

<b>Saídas no Sistema</b>			
<b>Resíduo</b>	<b>Especificação</b>	<b>Geração</b>	<b>Unidade</b>
Retalhos de chapa de bobina	Chapas reprovadas pela qualidade	2,10	kg

Os produtos deste processo são as: chapa-cilindro estocada (39,86 kg) e chapa-tampo estocada (46,22 kg).

- Corte a Plasma

Da área de estocagem até o equipamento de corte a plasma (Tabela 21), o operador transporta as chapas-cilindro estocada via empilhadeira a gás GLP. O consumo de combustível foi informado pelo setor de almoxarifado de produtos inflamáveis da Schulz S/A. Além disso, para realização do corte a plasma, ar comprimido e energia elétrica são necessários.

Como saídas (Tabela 22) há as sobras de chapa, pó de ferro e fumos. A mensuração da sobra gerada foi obtida através da pesagem deste resíduo na linha de produção. A média de geração de cinco cortes de chapa agregou valor ao dado coletado. O pó de ferro gerado não foi coletado, sendo que este é extremamente inferior a geração de sobras de chapas.

Tabela 21. Entradas no sistema do processo elementar de corte a plasma.

<b>Entradas no Sistema</b>			
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>
GLP	Combustível utilizado no transporte-Gás Liquefeito de Petróleo	0,00835	kg
Ar Comprimido	Ar atmosférico comprimido a pressão de 8,37 atm	6,30	m <sup>3</sup>
Energia elétrica	Operação da máquina de corte	0,042	kW h
Chapa-Cilindro Estocada	Material da composição é o SA 414 F	39,86	kg

Tabela 22. Saídas do sistema do processo elementar conhecido como corte a plasma.

<b>Saídas no Sistema</b>			
<b>Resíduo</b>	<b>Especificação</b>	<b>Geração</b>	<b>Unidade</b>
Sobra de Chapa	Sobras de chapa do processo de corte a plasma	0,27	kg
Pó de Ferro	Pó residual oriundo do processo de corte a plasma	Não coletado	-
Fumos	Fumos do processo de queima do aço	Não coletado	-

O Produto deste processo é a chapa-cilindro cortada com cerca de 39,59 kg.

- Calandragem

Para calandrar a chapa metálica e formar o cilindro neste processo entra energia elétrica e ar comprimido nos aparelhos de suporte, tais como mesa elevatória e o produto do processo anterior (a chapa-cilindro cortada) (Tabela 23).

A soldagem dos “bacalhaus” consome além destes próprios, gás argônio e arame de soldagem.

Enquanto que os bacalhaus foram pesados na linha de produção em uma média de cinco unidades, o gás e o arame foram repassados pelo setor de processos de produção de reservatórios.

Tabela 23. Entradas do processo de calandragem.

<b>Entradas no Sistema</b>			
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>
Chapa-Cilindro Cortada	Material da composição é o SA 414 F.	39,59	kg
Bacalhau	Sobra de chapa da guilhotina	0,328	kg
Gás Argônio	Gás utilizado no processo de soldagem dos bacalhaus	0,023	m <sup>3</sup>
Ar Comprimido	Ar atmosférico comprimido a pressão de 8,37 atm	0,21	m <sup>3</sup>
Energia elétrica	Operação da máquina de calandragem	0,277	kW h

Tabela 24. Saídas do processo de calandragem.

<b>Saídas no Sistema</b>			
<b>Resíduo</b>	<b>Especificação</b>	<b>Geração</b>	<b>Unidade</b>
Gases	Gás argônio residual	Não coletado	-
Fumos	Fumos do processo de queima do aço	Não coletado	-

As saídas se resumem aos gases residuais e fumos gerados no processo de soldagem dos bacalhaus (Tabela 24). O produto é a Chapa-Cilindro Calandrada (39,918 kg).

- Soldagem Longitudinal

A matéria-prima para a soldagem longitudinal é a Chapa-Cilindro Calandrada, o arame de solda, o fluxo granular (soldagem por arco submerso), a energia elétrica e a água (Tabela 25) que serve para resfriar o equipamento e é trocada a cada três meses.

Geram-se arame de solda residual, a escória de solda, a água que é destinada à ETE, e os fumos eventuais do processo de soldagem (Tabela 26) e que não foram coletados.

Neste mesmo processo o bacalhau, antes soldado, é extraído e descartado, gerando sobra de chapa soldada (também pesada na linha, média de dez unidades).

Tabela 25. Entradas do processo de Soldagem longitudinal.

<b>Entradas no Sistema</b>			
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>
Arame de Solda	Arame de cobre	0,4202	kg
Fluxo	Fluxo granular para soldagem por arco-submerso	0,3878	kg
Água	Água para resfriamento	0,309	L
Energia elétrica	Operação da máquina de soldagem	0,01906	kW h
Chapa-Cilindro Calandrada	Material da composição é o ASME 414 F	39,918	kg

Tabela 26. Saídas do processo de soldagem longitudinal.

<b>Saídas no Sistema</b>			
<b>Resíduo</b>	<b>Especificação</b>	<b>Geração</b>	<b>Unidade</b>
Arame de Solda	Arame de cobre residual	0,0071	kg
Escória de solda	Fluxo após processo de soldagem.	0,222	kg
Bacalhau	Sobra de chapa da guilhotina após reutilização	0,353	kg
Fumos	Fumos do processo de queima do aço	Não coletado	-
Efluente	Efluente gerado (resfriamento do equipamento)	0,309	L

Após este processo, o cilindro já está conformado (39,978 kg).

▪ Corte de Guilhotina

O equipamento de corte de guilhotina opera por energia elétrica (Tabela 27). Para o reservatório 789, objeto deste estudo, a chapa estocada de conformação do cilindro não é cortada, pois chega à empresa na medida exata. Já a chapa estocada de conformação dos tampos é cortada em quatro unidades, sendo assim a guilhotina opera três vezes. O corte desta chapa é um corte limpo e não gera retalhos de chapas.

Tabela 27. Entradas no sistema do processo elementar de corte de guilhotina.

<b>Entradas no Sistema</b>			
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>
Energia elétrica	Operação da Guilhotina	0,01525	kW h
Chapa-Tampo	Material da composição é o ASME	46,22	kg
Estocada	414 F		

A chapa que resulta deste processo é dividida por duas, já que o reservatório é conformado com dois tampos, uma em cada extremidade do cilindro, portanto, 23,11 kg. Podemos chamar este produto de Chapa-Tampo Cortada (duas unidades). Este processo não apresenta saídas.

▪ Corte Circular

A máquina para este corte é a tesoura rotativa (Tabela 28). Existe a geração de retalhos das chapas de aço, que seguem para o derretimento na fundição da própria Schulz S/A (Tabela 29).

Os materiais foram pesados para obter os dados, em uma média de cinco retalhos de chapa. Os cálculos de consumo de energia são realizados pela potência das máquinas num espaço de tempo em que o trabalho é realizado.



Tabela 28. Entradas no Corte Circular.

<b>Entradas no Sistema</b>			
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>
Ar Comprimido	Ar atmosférico comprimido a pressão de 8,37 atm	0,21	m <sup>3</sup>
Energia elétrica	Operação da tesoura circular	0,1523	kW h
Chapa-Tampo Cortada	Material da composição é o ASME 414 F	23,11	kg

Tabela 29. Saídas do processo de corte circular.

<b>Saídas no Sistema</b>			
<b>Resíduo</b>	<b>Especificação</b>	<b>Geração</b>	<b>Unidade</b>
Retalho de Chapa	Sobra de chapa do corte circular	7,704	kg

A chapa resultante, é a Chapa-Tampo Circular (duas unidades) e pesa, subtraindo-se o retalho, 15,406 kg.

▪ **Prensagem Hidráulica**

Na prensa de conformação, a chapa circunferencial é pressionada e forma-se a calota, como se fosse uma concha (Tabela 30). Nela é utilizado óleo de repuxo para facilitar este trabalho. A informação foi obtida na linha de produção através da requisição de material do operador.

A água que entra recircula no equipamento e sai após três meses (Tabela 31).

Tabela 30. Entradas do processo de prensagem hidráulica.

<b>Entradas no Sistema</b>			
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>
Chapa-Tampo Circular	Material da composição é o ASME 414 F	15,406	kg
Óleo de Repuxo	Óleo lubrificante para conformação na prensa	0,0772	L
Água	Água para operação do equipamento	0,6175	L
Energia elétrica	Operação da máquina de prensagem	1,987	kW h

Tabela 31. Saídas da prensagem hidráulica.

<b>Saídas no Sistema</b>			
<b>Resíduo</b>	<b>Especificação</b>	<b>Geração</b>	<b>Unidade</b>
Efluente	Efluente gerado (equipamento)	0,6175	L

Após este processo, o tampo já está conformado (15,406 kg para duas unidades).

▪ **Lavagem de Tampos**

Localizada na mesma área da prensa de conformação, a lavagem apresenta entrada de energia elétrica, calculada a partir da corrente

elétrica utilizada na operação e tempo de lavagem de duas calotas (Tabela 32).

O consumo de detergentes está em fase de estudos, e, portanto, não é considerado. A água utilizada é repostada a cada quatro meses. O efluente gerado é uma solução carregada de óleo (Tabela 33), e é levado a ETE dentro de bombonas plásticas, onde aguarda transporte para tratamento externo.

O produto deste processo não sofre acréscimos ou decréscimos de peso. O resultado é o Tampo Limpo.

Tabela 32. Entradas da Lavagem de tampos.

<b>Entradas no Sistema</b>			
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>
Tampo	Material da composição é o ASME 414 F	15,406	kg
Água	Água para operação do equipamento	0,2314	L
Energia elétrica	Operação da máquina de lavagem de tampos	3,0415	kW h

Tabela 33. Saídas do processo de lavagem de tampos.

<b>Saídas no Sistema</b>			
<b>Resíduo</b>	<b>Especificação</b>	<b>Geração</b>	<b>Unidade</b>
Efluente	Efluente gerado (água e óleo de repuxo)	0,3087	L

▪ **Rebordeadeira**

A rebordeadeira é o equipamento que molda a calota metálica em sua extremidade, para que obtenha um encaixe exato no cilindro. É utilizada energia elétrica na máquina. Cada tampo recebe uma camada de desengraxante em sua extremidade, aplicado com estopas de pano (Tabela 34).

É gerada uma pequena quantidade de pó de ferro que é descartado na varrição de chão da fábrica. Por este motivo e por ser de pequena geração com relação à geração de sobras de chapa, não foi coletada neste estudo (

Tabela 35).

Tabela 34. Entradas do processo de rebordo.

<b>Entradas no Sistema</b>			
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>
Tampo Limpo	Material da composição é o ASME 414 F	15,406	kg
Estopa	Estopa de pano	0,1741	kg
Desengraxante	Óleo desengraxante	0,1351	kg
Energia elétrica	Operação da máquina de rebordo	0,7813	kW h

Tabela 35. Saídas do processo de rebordo.

<b>Saídas no Sistema</b>			
<b>Resíduo</b>	<b>Especificação</b>	<b>Geração</b>	<b>Unidade</b>
Estopa saturada	Estopa embebida em desengraxante	0,3092	kg
Pó de Ferro	Pó de ferro residual gerada pelo processo de rebordo	Não Coletado	-

O produto é o Tampo Acabado e segue para a soldagem junto ao corpo cilíndrico para formar o reservatório.

▪ Montagem de Tampo

Nesta unidade do processo, os dois tampos são pré-soldados ao corpo cilíndrico, formando o reservatório (55,52 kg).

O equipamento de solda requer energia elétrica para o seu funcionamento, bem como entradas de arame de solda, e gases de proteção e funcionamento do processo de soldagem. O anti respingo ecológico é um produto utilizado para evitar respingos de solda indevidos que venham a comprometer a qualidade do reservatório para posteriores processos. O ar comprimido aqui utilizado serve de apoio, através de ferramentas de manipulação do reservatório (Tabela 36).

Fumos do processo de soldagem, e gases residuais da utilização do anti respingo, do CO<sub>2</sub> e do argônio são saídas deste processo. Soma-se o arame de cobre residual que é descartado para a central de descartes (Tabela 37).

Tabela 36. Entradas do processo de soldagem de tampos.

<b>Entradas no Sistema</b>			
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>
Tampo Limpo	Material da composição é o ASME 414 F	15,406	kg
Cilindro	Material da composição é o ASME 414 E	39,978	kg
Gás Argônio	Gás de proteção no processo de soldagem	0,02301	m <sup>3</sup>
Gás CO <sub>2</sub>	Gás utilizado no processo de soldagem	0,00651	m <sup>3</sup>
Arame de Solda	Arame de cobre	0,144	kg
Ar Comprimido	Ar atmosférico comprimido a pressão de 8,37 atm	0,21	m <sup>3</sup>
Anti Respingo Ecológico	Spray utilizado para evitar respingos de solda	0,036	kg
Energia elétrica	Operação da máquina de soldagem	0,025	kW h

Tabela 37. Saídas do processo de colocação de montagem de tampo.

<b>Saídas no Sistema</b>			
<b>Resíduo</b>	<b>Especificação</b>	<b>Geração</b>	<b>Unidade</b>
Arame de Solda	Arame de cobre residual	0,0071	kg
Gases	Gás argônio e CO <sub>2</sub> residuais	Não coletado	-
Fumos	Fumos do processo de queima do aço	Não coletado	-

- Soldagem Circunferencial

Na soldagem circunferencial, os tampos que foram pré soldados na montagem do tampo são soldados em toda a sua circunferência. Neste processo o reservatório recebe o acréscimo de uma das conexões de aço, que servirão para conectar as serpentinas no futuro. O equipamento requer energia para operação e de duas entradas para a soldagem por arco submerso: arame de solda e fluxo granular. O ar comprimido alimenta as ferramentas de apoio (Tabela 38).

Tabela 38. Entradas do processo de soldagem circunferencial.

<b>Entradas no Sistema</b>			
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>
Reservatório	Aço baixo carbono	55,52	kg
Conexão	Aço	0,02644	kg
Fluxo	Fluxo granular para a soldagem por arco-submerso	0,7747	kg
Arame de Solda	Arame de cobre	0,8413	kg
Ar Comprimido	Ar atmosférico comprimido a pressão de 8,37 atm	0,21	m <sup>3</sup>
Energia elétrica	Operação da máquina de soldagem	0,0257	kW h

Tabela 39. Saídas do processo de soldagem circunferencial.

<b>Saídas no Sistema</b>			
<b>Resíduo</b>	<b>Especificação</b>	<b>Geração</b>	<b>Unidade</b>
Arame de Solda	Arame de cobre residual	0,0143	kg
Escória de Solda	Fluxo granular residual do processo de soldagem	0,444	kg
Fumos	Fumos do processo de queima do aço	Não coletado	-

O fluxo resultante do processo da soldagem é chamado de escória de solda, e nada mais é do que o fluxo “queimado” pelo bico de soldagem. Resíduos como o arame de cobre residual é proveniente de trocas de carretel e início e final do processo de soldagem (Tabela 39).

O produto deste processo é o reservatório soldado, computando 56,37 kg.

- Colocação de Pé, Base e Conexões

Após a colocação destes componentes através de soldagens, o reservatório soldado pode ser chamado de reservatório montado, e pesa 68,7 kg

Três novas conexões são soldadas ao reservatório, bem como quatro pés e uma base (que servirá de apoio para o motor e a unidade de compressão de ar).

Encontram-se aqui entradas costumeiras do processo de soldagem mais as peças utilizadas neste processo da fabricação (Tabela 40) além das saídas (Tabela 41).

Tabela 40. Entradas do processo de soldagem de componentes (pé, base e conexões).

<b>Entradas no Sistema</b>			
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>
Reservatório Soldado	Aço baixo carbono	56,37	kg
Conexões	Aço	0,2046	kg
Pés	Aço baixo carbono	3,8	kg
Base	Aço baixo carbono	8,1	kg
Arame de Solda	Arame de cobre	0,29	kg
Gás Argônio	Gás de proteção no processo de soldagem	0,02301	m <sup>3</sup>
Gás CO <sub>2</sub>	Gás utilizado no processo de soldagem	0,00651	m <sup>3</sup>
Anti Respingo Ecológico	Spray utilizado para evitar respingos de solda	0,036	kg
Energia elétrica	Operação da máquina de soldagem	0,4	kW h

Tabela 41. Saídas do processo de soldagem de componentes.

<b>Saídas no Sistema</b>			
<b>Resíduo</b>	<b>Especificação</b>	<b>Geração</b>	<b>Unidade</b>
Arame de Solda	Arame de cobre residual	0,0071	kg
Gases	Gás argônio e CO <sub>2</sub> residuais	Não coletado	-
Fumos	Fumos do processo de queima do aço	Não coletado	-

#### ▪ Teste hidrostático

Para o teste uma mistura de água e produto anti corrosão são necessários, além de energia elétrica. Nesta etapa a plaqueta é rebitada no corpo do reservatório através de uma pistola pneumática (requer ar comprimido) (Tabela 42).

O produto é o reservatório testado (68,7 kg), que gera resíduo de alumínio e efluente líquido (Tabela 43).

Tabela 42. Entradas do processo de teste hidrostático.

<b>Entradas no Sistema</b>			
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>
Reservatório Montado	Aço baixo carbono	68,7	Kg
Rebite	Alumínio	0,002	Kg
Plaqueta	Alumínio	0,002	Kg
Água	Água para operação do equipamento	0,2314	L
Anti-Cor	Anti-corrosivo biodegradável e atóxico	0,0463	L
Ar Comprimido	Ar atmosférico comprimido a pressão de 8,37 atm	0,21	m <sup>3</sup>
Energia elétrica	Operação da máquina de teste hidrostático	0,317	kW h

Tabela 43. Saídas do processo de teste hidrostático.

<b>Saídas no Sistema</b>			
<b>Resíduo</b>	<b>Especificação</b>	<b>Geração</b>	<b>Unidade</b>
Rebite Pop	Resíduo do rebite de alumínio	0,001	Kg
Água + Anti-cor	Efluente trocado a cada 4 meses	0,5092	L

▪ **Carga**

A etapa de carga é a preparação do reservatório para todo o processo de pintura (Tabela 44). Aqui, uma fita de proteção é utilizada para cobrir a plaqueta de alumínio que identifica o reservatório quanto ao seu teste de segurança.

A entrada da energia elétrica diz respeito à correia aérea, utilizada para movimentar o produto por entre as cabines. Mais uma vez, o ar comprimido entra apenas para operar ferramentas de apoio.

Tabela 44. Entradas do processo de carga do reservatório.

<b>Entradas no Sistema</b>			
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>
Reservatório Testado	Aço baixo carbono	68,7	Kg
Fita de Vinil	Fita adesiva	0,0045	Kg
Ar Comprimido	Ar atmosférico comprimido a pressão de 8,37 atm	0,21	XX
Energia elétrica	Operação da correia aérea	0,0953	kW h

Esta unidade não apresenta saídas. Seu produto é o Reservatório Acoplado (68,7 kg).

▪ **Jateamento de Granalha**

Energia necessária para transportar o reservatório e operar a cabine de jateamento. Esta cabine possui poderosos motores que jateiam a granalha na direção do reservatório, dando-o o acabamento superficial necessário para a pintura (Tabela 45). Grande parte da granalha retorna ao processo, no entanto, uma fração dela se perde na forma de pó de granalha (Tabela 46), e é captada por um ciclone e depositada em tambores.

O reservatório entra como Reservatório Acoplado, e sai como Reservatório Jateado, sendo que seu peso é mantido.

Tabela 45. Entradas do processo de jateamento de granalha.

<b>Entradas no Sistema</b>			
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>
Reservatório Acoplado	Aço baixo carbono	68,7	Kg
Granalha	Pequenas partículas de aço	1,093	Kg
Energia elétrica	Operação da máquina de jateamento e correia aérea	1,4255	kW h

Tabela 46. Saídas do processo de jateamento de granalha.

<b>Saídas no Sistema</b>				
<b>Resíduo</b>	<b>Especificação</b>	<b>Geração</b>	<b>Unidade</b>	
Pó de granalha	Granalha residual que não retornou ao processo	0,5317	kg	

▪ Limpeza

A preparação para a pintura pede que o reservatório seja limpo após todos os processos da fabricação até o momento. Além da energia para operar os equipamentos e a correia de movimentação, o ar comprimido aqui é utilizado como ferramenta de limpeza (Tabela 47).

Tabela 47. Entradas do processo de limpeza do reservatório.

<b>Entradas no Sistema</b>				
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>	
Reservatório Jateado	Aço baixo carbono	68,7	Kg	
Ar Comprimido	Ar atmosférico comprimido a pressão de 8,37 atm	8,40	m <sup>3</sup>	
Energia elétrica	Operação do equipamento de limpeza e correia aérea	0,338	kW h	

As saídas se resumem à fita de vinil que é retirada neste processo e descartada, e ao pó de granalha que é acrescentado ao tambor de pó de granalha e foi computado juntamente com o processo de jateamento por ter pequena participação no montante final (Tabela 48). Alguma pequena fração desta granalha residual se perde na varrição da fábrica.

Tabela 48. Saídas do processo de limpeza do reservatório.

<b>Saídas no Sistema</b>				
<b>Resíduo</b>	<b>Especificação</b>	<b>Geração</b>	<b>Unidade</b>	
Pó de granalha	Granalha residual	-	kg	
Fita de Vinil	Fita adesiva de vinil	0,005	kg	

O produto da limpeza é o Reservatório Limpo (68,7 kg).

▪ Pintura a Pó

Além do Reservatório Limpo, entram energia elétrica e ar comprimido, ambos para a operação da cabine de pintura e movimentação do reservatório e a tinta em pó (Tabela 49).

Tabela 49. Entradas do processo de pintura a pó.

<b>Entradas no Sistema</b>				
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>	
Reservatório Limpo	Aço baixo carbono	68,7	Kg	
Tinta em Pó	Pó de tinta na cor preta	0,3502	Kg	
Ar Comprimido	Ar atmosférico comprimido a	8,40	m <sup>3</sup>	
Energia elétrica	Operação da cabine de pintura e correia aérea	0,2788	kW h	



O que sai é alguma perda de tinta em pó retida no extrator (Tabela 50). Teoricamente toda a tinta em pó deveria retornar ao processo.

Tabela 50. Saídas do processo elementar de pintura a pó.

<b>Saídas no Sistema</b>			
<b>Resíduo</b>	<b>Especificação</b>	<b>Geração</b>	<b>Unidade</b>
Pó de Tinta	Pó de tinta residual que não retornou ao processo	0,0675	Kg

O produto da pintura é o Reservatório Pintado.

▪ Secagem

A cabine de secagem utiliza-se de duas fontes para aquecer e secar os reservatórios. Através da energia elétrica e resistências e através da combustão do gás natural (Tabela 51).

Tabela 51. Entradas do processo de secagem.

<b>Entradas no Sistema</b>			
<b>Matéria-Prima</b>	<b>Especificação</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidade</b>
Reservatório Pintado	Aço baixo carbono	68,7	Kg
Gás Natural	Gás natural para aquecimento	2,749	m <sup>3</sup>
Energia elétrica	Operação da cabine de secagem e correia aérea	0,4431	kW h

As saídas deste processo se resumem às emissões da combustão incompleta do gás natural (Tabela 52).

Tabela 52. Saídas do processo de secagem.

<b>Saídas no Sistema</b>			
<b>Resíduo</b>	<b>Especificação</b>	<b>Geração</b>	<b>Unidade</b>
Emissão Atmosférica	Oriundo do processo da queima incompleta do gás	Não coletado	-

O resultado é o Reservatório Seco pronto para a pré-descarga.

▪ Pré-Descarga

Este é o último processo. A partir daqui o reservatório já está pronto para receber a montagem da unidade motriz e da unidade compressora em sua base. Aqui, muitas peças são adicionadas: base de madeira, saco plástico e papel (prontuário), arruelas, porcas, purgadores e parafusos (Tabela 52). O ar comprimido entra como operação de mecanismos pneumáticos de colocação destas peças.

Tabela 53. Entradas do processo de pré descarga.

Entradas no Sistema			
Matéria-Prima	Especificação	Consumo	Unidade
Reservatório Seco	Aço baixo carbono	68,7	Kg
Peças	Porcas, parafusos, arruelas e purgadores	0,06	kg
Base de Madeira	Base de madeira de reflorestamento (eucalipto)	9,805	Kg
Plástico	Saco plástico mole	0,0041	Kg
Papel	Papel sulfite	0,008	kg
Ar Comprimido	Ar atmosférico comprimido a pressão de 8,37 atm	0,21	m <sup>3</sup>
Energia elétrica	Operação da correia aérea	0,0983	kW h

Nenhum resíduo é gerado, portanto, não possui nenhuma saída. O produto que sai deste processo é o Reservatório Pronto, com peso de 78,6 kg.

#### 5.4. Análise de Impacto de Ciclo de Vida

Para a realização da Análise de ICV foi utilizado o método CML 2001 através do software SimaPro. As categorias do CML 2001 utilizadas foram: Depleção de recursos abióticos; Acidificação; Eutrofização; Mudança climática; Depleção de ozônio estratosférico; Toxicidade humana; Ecotoxicidade da água doce; Ecotoxicidade marinha; Ecotoxicidade Terrestre; e Formação fotoquímica de oxidante. Acrescidos: Demanda Total de energia acumulada; Quantidade de resíduos.

Nos próximos subitens serão apresentados os gráficos referentes às participações dos processos e produtos no impacto final sob cada categoria disposta acima.

##### 5.4.1. Impactos Ambientais

Ao todo são doze categorias de impactos ambientais analisados para esta AICV. A totalidade do impacto foi primeiramente dividida de forma resumida entre os produtos e os processos. Neste TCC entende-se por produtos as chapas metálicas obtidas, tanto para conformação cilíndrica, quanto para conformação dos tampos. Os processos são todos aqueles descritos no capítulo 5.2.4.

Tabela 54. Contribuição para impactos dos produtos e dos processos de um reservatório componente de um compressor de ar.

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Produtos</b>	<b>Processos</b>
Depleção dos Recursos Abióticos	kg Sb eq	0,9045	0,5146
Acidificação	kg SO <sub>2</sub> eq	0,3887	0,5393
Eutrofização	kg PO <sub>4</sub> eq	0,0797	0,0564
Aquecimento Global	kg CO <sub>2</sub> eq	107,7619	57,0404
Depleção da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	0,0000	0,0000
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	44,0562	173,4404
Ecotoxicidade da Água Doce	kg 1,4-DB eq	41,0280	18,8778
Ecotoxicidade Marinha	kg 1,4-DB eq	38921,4929	20865,4232
Ecotoxicidade Terrestre	kg 1,4-DB eq	1,7989	1,8077
Oxidação Fotoquímica	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,0545	0,0339
Demanda Acumulativa Total de Energia	MJ eq	1700,5956	1435,5919
Quantidade de Resíduos	kg	15,9274	17,8629

Tabela 55. Participação percentual dos processos e dos produtos nas categorias de impactos de um reservatório componente de um compressor de ar.

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Produtos</b>	<b>Processos</b>
Depleção dos Recursos Abióticos	kg Sb eq	64%	36%
Acidificação	kg SO <sub>2</sub> eq	42%	58%
Eutrofização	kg PO <sub>4</sub> eq	59%	41%
Aquecimento Global	kg CO <sub>2</sub> eq	65%	35%
Depleção da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	55%	45%
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	20%	80%
Ecotoxicidade da Água Doce	kg 1,4-DB eq	68%	32%
Ecotoxicidade Marinha	kg 1,4-DB eq	65%	35%
Ecotoxicidade Terrestre	kg 1,4-DB eq	50%	50%
Oxidação Fotoquímica	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	62%	38%
Demanda Acumulativa Total de Energia	MJ eq	54%	46%
Quantidade de Resíduos	kg	47%	53%

Ao analisar a Tabela 55 podemos concluir de um modo geral, que a obtenção das matérias-primas do reservatório de ar, ou seja, a obtenção dos produtos, é a atividade que, sob quase todas as categorias de impacto, contribui mais para o impacto final.

A Figura 51 ilustra esta divisão na participação final dos impactos.

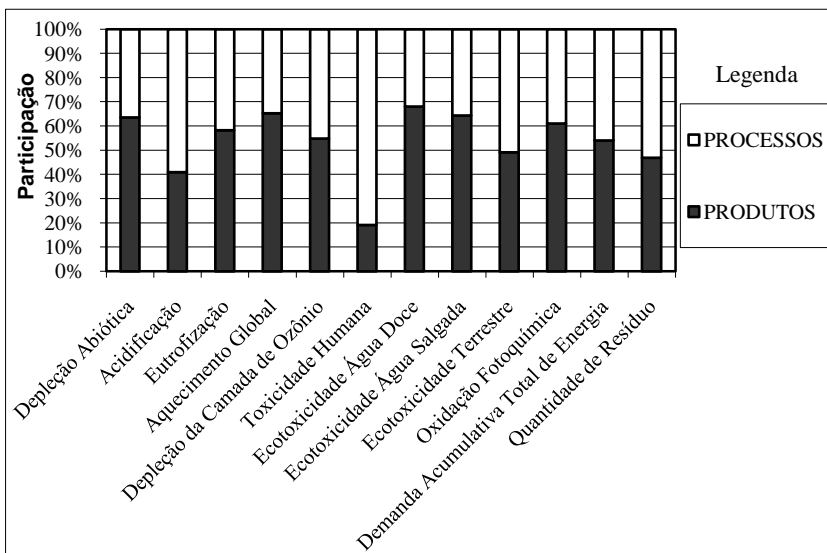


Figura 51. Divisão de impactos entre processos e produtos de um reservatório componente de um compressor de ar.

Já a Figura 52 demonstra todas as etapas do processo de fabricação conforme fluxograma apresentado neste estudo. Este gráfico permite visualizar as etapas do processo de fabricação que causam maior impacto em cada categoria.

Os produtos (chapa do cilindro e chapa dos tampos) são os que aparecem na base das colunas, apresentam legendas semelhantes (claro com pontos escuros e escuro com pontos claros) justamente para diferenciá-los dos processos.

Dentre os processos as três legendas de traços diagonais representam os principais processos de soldagem (longitudinal, de tampos e circunferencial) e por este motivo também se assemelham.

Destacam-se ainda o processo de acabamento, representado por pontos espaçados em fundo branco; a colocação de componentes (legenda em rede diagonal) e pré descarga representado por linhas onduladas e paralelas.

A Tabela 56 apresenta os valores que alimentam os gráficos de impactos.

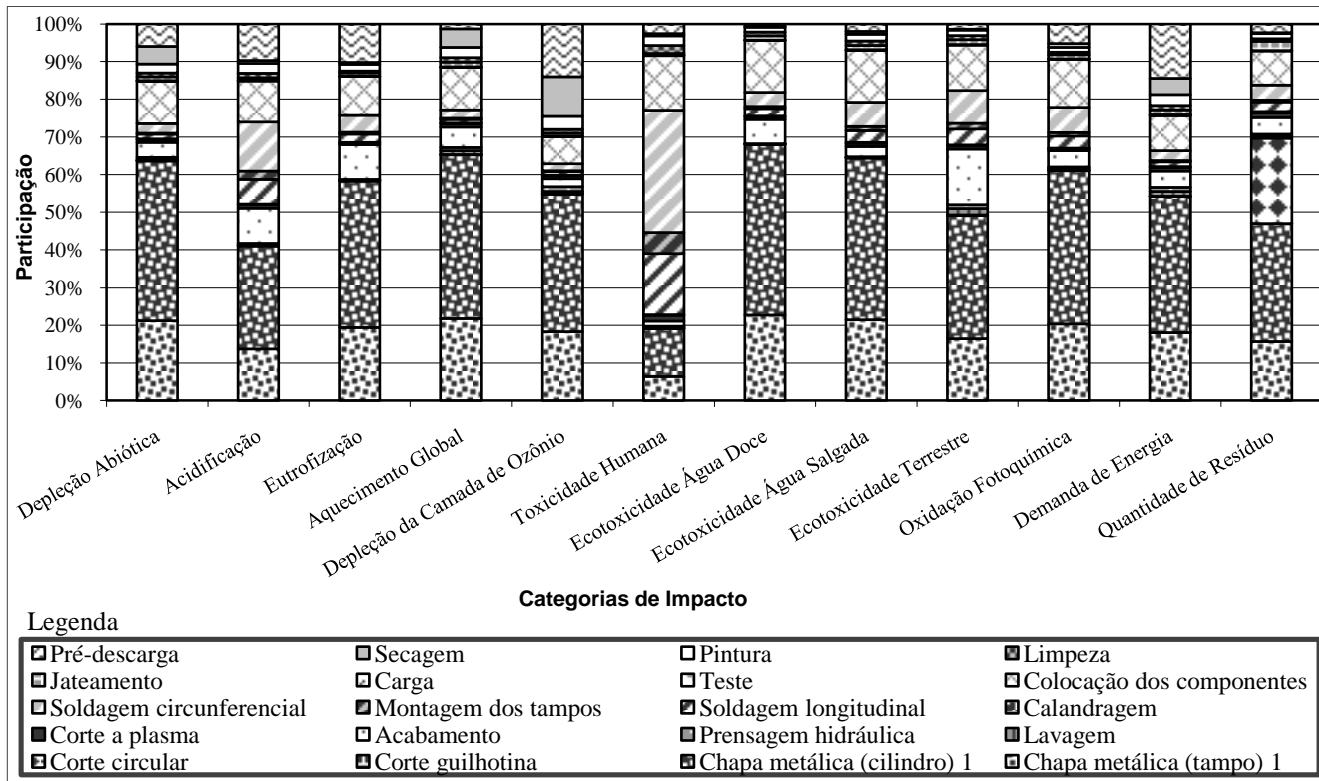


Figura 52. Gráfico detalhado com categorias de impactos entre processos e produtos.

Tabela 56. Participações dos processos e produtos para cada categoria de impacto. Esta tabela alimenta a figura 2.

		Categorias de Impacto					Toxicidade Humana
		Depleção Abiótica	Acidificação	Eutrofização	Aquecimento. Global	Depleção da Camada de Ozônio	
Processos e Produtos	Unidades	kg Sb eq	kg SO <sub>2</sub> eq	kg PO <sub>4</sub> eq	kg CO <sub>2</sub> eq	kg CFC-11 eq	kg 1,4-DB eq
	Chapa (tampo) 1	3,02E-01	1,30E-01	2,66E-02	3,60E+01	1,84E-06	1,47E+01
	Chapa (cilindro) 1	6,04E-01	2,60E-01	5,33E-02	7,20E+01	3,68E-06	2,94E+01
	Corte guilhotina	2,47E-05	1,36E-05	1,13E-06	8,82E-03	3,17E-10	3,30E-03
	Corte circular	9,27E-04	7,09E-04	4,71E-05	1,81E-01	8,06E-09	2,70E-01
	Lavagem	4,93E-03	2,72E-03	2,26E-04	1,76E+00	6,33E-08	6,58E-01
	Prensagem hidráulica	7,96E-03	3,06E-03	2,69E-04	1,29E+00	1,29E-07	5,29E-01
	Acabamento	5,73E-02	8,93E-02	1,27E-02	9,00E+00	2,07E-07	3,08E+00
	Corte a plasma	1,04E-02	8,68E-03	5,44E-04	1,42E+00	7,78E-08	3,57E+00
	Calandragem	3,15E-03	1,54E-03	2,51E-04	4,36E-01	2,10E-08	2,72E-01
	Soldagem long.	1,78E-02	6,20E-02	3,07E-03	1,65E+00	9,08E-08	3,73E+01
	Mont. dos tampos	3,62E-03	2,11E-02	6,58E-04	4,85E-01	2,98E-08	1,29E+01
	Soldagem circunf.	3,62E-02	1,25E-01	6,19E-03	3,38E+00	1,85E-07	7,49E+01
	Componentes	1,59E-01	1,03E-01	1,40E-02	1,88E+01	7,30E-07	3,36E+01
	Teste	7,96E-04	5,87E-04	4,36E-05	1,72E-01	7,79E-09	3,04E-01
	Carga	1,14E-03	6,36E-04	5,20E-05	1,59E-01	9,63E-09	2,44E-01
	Jateamento	1,51E-02	6,27E-03	1,20E-03	2,04E+00	7,65E-08	8,65E-01
	Limpeza	1,39E-02	1,16E-02	7,29E-04	1,96E+00	1,01E-07	4,78E+00
	Pintura	3,48E-02	2,49E-02	2,45E-03	4,54E+00	3,48E-07	5,96E+00
	Secagem	6,60E-02	7,16E-03	6,83E-04	8,13E+00	1,05E-06	1,25E+00
	Pré-descarga	8,52E-02	9,25E-02	1,40E-02	2,16E+00	1,42E-06	5,99E+00
Total	1,42E+00	9,50E-01	1,37E-01	1,66E+02	1,01E-05	2,31E+02	

		Categorias de Impacto					
		Ecotoxicidade Água Doce	Ecotoxicidade Água Salgada	Ecotoxicidade Terrestre	Oxidação Fotoquímica	Demanda Acumulada Total de Energia	Quantidade de Resíduo
Processos e Produtos	Unidades	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	MJ eq	kg
	Chapa (tampo) 1	1,37E+01	1,30E+04	6,01E-01	1,82E-02	5,68E+02	5,32E+00
	Chapa (cilindro) 1	2,74E+01	2,60E+04	1,20E+00	3,64E-02	1,14E+03	1,06E+01
	Corte guilhotina	2,09E-04	3,71E-01	3,01E-04	2,25E-06	1,94E-01	1,09E-03
	Corte circular	3,10E-02	4,08E+01	4,92E-03	4,99E-05	3,79E+00	7,73E+00
	Lavagem	4,18E-02	7,41E+01	6,00E-02	4,48E-04	3,87E+01	2,17E-01
	Prensagem hidráulica	4,07E-02	1,08E+02	3,99E-02	3,65E-04	3,62E+01	1,52E-01
	Acabamento	3,87E+00	1,61E+03	5,43E-01	3,86E-03	1,37E+02	1,52E+00
	Corte a plasma	4,34E-01	5,60E+02	2,91E-02	4,18E-04	2,85E+01	4,35E-01
	Calandragem	1,30E-01	1,31E+02	8,71E-03	1,86E-04	7,65E+00	5,94E-02
	Soldagem long.	1,10E+00	1,89E+03	1,57E-01	2,91E-03	4,10E+01	8,53E-01
	Mont. dos tampos	3,90E-01	6,75E+02	5,52E-02	8,04E-04	9,27E+00	1,60E-01
	Soldagem circunf.	2,22E+00	3,82E+03	3,16E-01	5,86E-03	8,35E+01	1,37E+00
	Componentes	8,37E+00	8,42E+03	4,45E-01	1,15E-02	2,96E+02	3,09E+00
	Teste	3,21E-02	4,09E+01	4,47E-03	5,03E-05	3,49E+00	2,30E-02
	Carga	3,81E-02	5,02E+01	2,42E-03	5,12E-05	3,24E+00	2,50E-02
	Jateamento	6,98E-01	6,62E+02	4,42E-02	9,98E-04	3,46E+01	8,33E-01
	Limpeza	5,80E-01	7,46E+02	4,16E-02	5,74E-04	3,92E+01	2,34E-01
	Pintura	8,04E-01	1,09E+03	5,27E-02	1,20E-03	8,92E+01	4,71E-01
	Secagem	6,39E-02	4,65E+02	9,74E-03	8,93E-04	1,39E+02	7,87E-02
	Pré-descarga	4,33E-01	1,16E+03	5,05E-02	4,63E-03	4,55E+02	7,78E-01
	Total	6,04E+01	6,06E+04	3,67E+00	8,94E-02	3,15E+03	3,40E+01

### 5.4.2. Interpretações

Neste item, os aspectos ambientais serão interpretados, com a apresentação dos gráficos individuais.

#### a) Depleção dos Recursos Abióticos

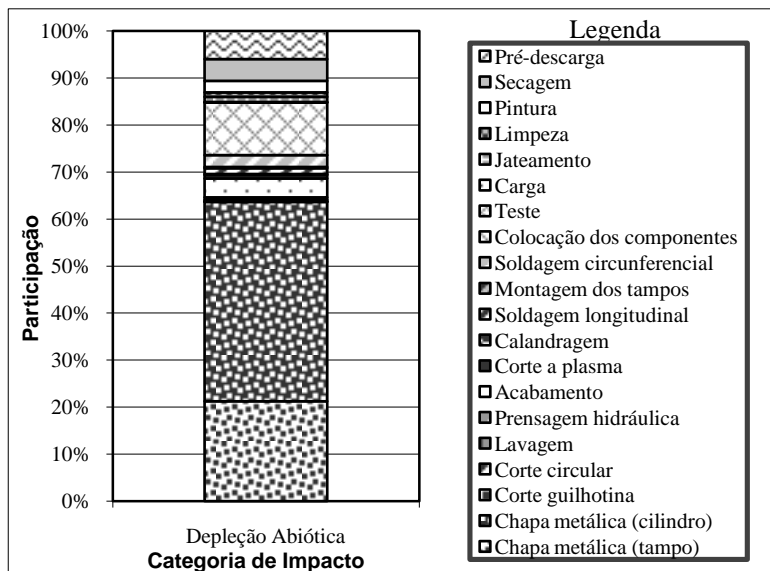


Figura 53. Porcentagens de participações na categoria de impacto depleção abiótica dos produtos e processos.

Esta categoria de impacto trata da diminuição dos recursos naturais, contudo, as chapas correspondem à maior parte deste impacto com mais que 60 %, já que são compostas por aço cuja matéria-prima é o ferro.

Dentre os processos, o mais impactante de acordo com esta categoria, é a colocação de componentes, justificado pelas próprias peças (que estão inseridas no processo) que são soldadas ao reservatório (pés, base e conexões). Esta etapa do processo de fabricação contribui com 11% do total do impacto.

As etapas da pré descarga e da secagem do reservatório contribuem com 6% e 5%, respectivamente. Nestes processos os principais responsáveis pelo impacto sob esta categoria são as



entradas de madeira (base na pré-descarga) e de gás natural (combustível para a secagem).

b) Acidificação

A acidificação é uma categoria de impacto ambiental que reflete o aumento da acidez do meio, que pode ser resultado da volatilização de diversos compostos.

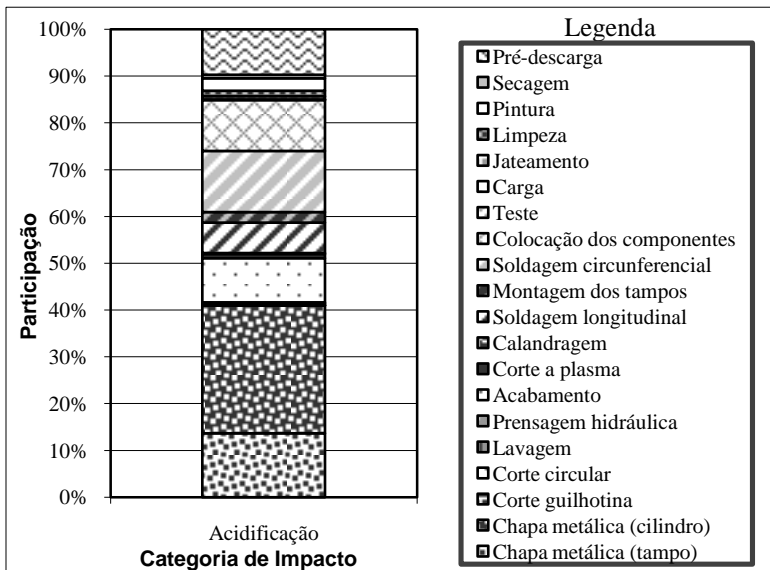


Figura 54. Porcentagens de participação na categoria de impacto Acidificação dos produtos e processos.

No processo de fabricação do reservatório 789 a obtenção da matéria-prima principal contribui com aproximadamente 40 % do impacto desta categoria. No que diz respeito aos processos, a seguinte situação foi encontrada (Tabela 57):

Tabela 57. Participação dos principais processos e produtos no montante do impacto ambiental sob aspecto de acidificação.

Produto/Processo	Valor	Participação
Chapa metálica – tampo *	0,129861363	13,67%
Chapa metálica – Cilindro *	0,258813693	27,33%
Acabamento	0,089331888	9,40%
Soldagem longitudinal	0,061807252	6,53%
Soldagem circunferencial	0,124594662	13,11%
Colocação dos componentes	0,103263754	10,87%
Pré-descarga	0,092459623	9,73%

\* Produtos.

Com exceção das chapas, o principal gerador de impacto é o processo de soldagem circunferencial, seguida do processo de colocação de componentes.

### c) Eutrofização

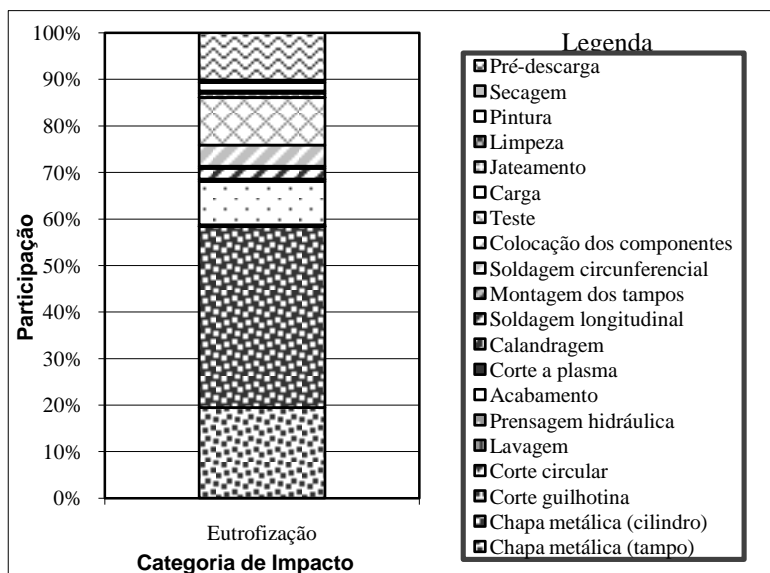


Figura 55. Porcentagens de participação na categoria de impacto Eutrofização dos produtos e processos

Os processos de soldagem, de acabamento de tampos e de pré-descarga são os que mais contribuem para a categoria de

impacto Eutrofização com cerca de 58% do total. As quatro principais soldagens somadas (circunferencial, longitudinal, montagem de tampos e soldagem de componentes) totalizam 17,5 %, enquanto que os outros dois processos contribuem com aproximadamente 10% cada.

d) Aquecimento Global

É perfeitamente visível que o maior responsável pelo impacto ambiental referente ao aquecimento global é a obtenção das chapas metálicas, com aproximadamente 68%.

Dos processos realizados na Schulz S/A, os que se destacam nesta categoria de impacto são a soldagem de componentes (11,33% aproximadamente) e de acabamento (5,44%). O processo de secagem também com 4,91% da geração deste impacto. A Figura 56 demonstra a divisão de participação dos processos e produtos da fabricação da unidade funcional deste estudo.

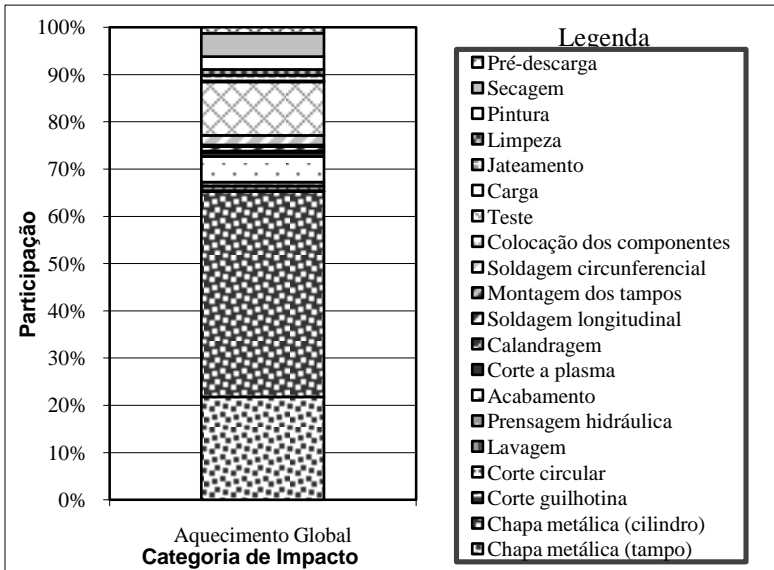


Figura 56. Porcentagens de participação na categoria de impacto Aquecimento Global dos produtos e processos

e) Depleção da Camada de Ozônio

Com relação à diminuição da camada de ozônio, a Tabela 58 demonstra os produtos/processos e suas participações nesta categoria.

É a obtenção das chapas o que mais contribui para a depleção da camada de ozônio, com aproximadamente 55 % do total (Figura 57). O processo de pré descarga contabiliza 14 % do montante final e o processo de secagem com aproximadamente 10%.

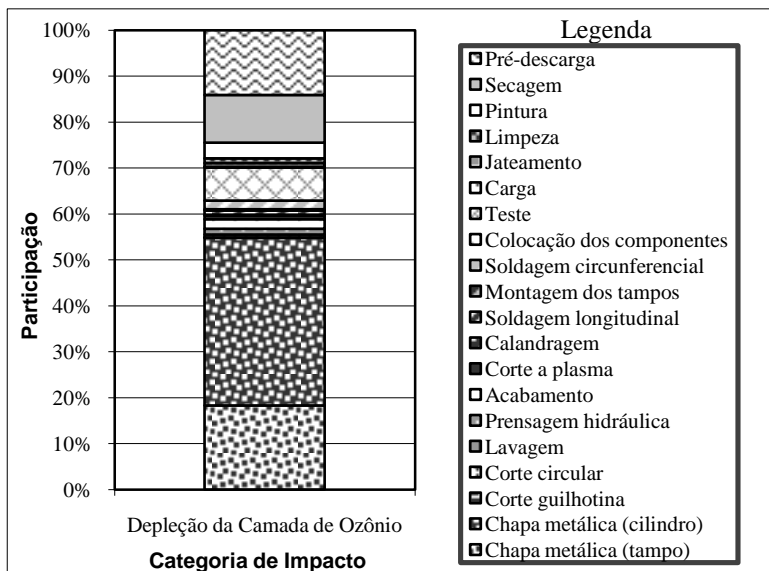


Figura 57. Porcentagens de participação na categoria de impacto Depleção da Camada de Ozônio dos produtos e processos

Tabela 58. Participação do impacto. Aspecto: depleção da camada de ozônio.

<b>Produto / Processo</b>	<b>Valor</b>	<b>Participação</b>
Chapa metálica (tampo) 1	1,8394E-06	18,27%
Chapa metálica (cilindro) 1	3,6788E-06	36,54%
Colocação dos componentes	7,3042E-07	7,26%
Secagem	1,0474E-06	10,40%
Pré-descarga	1,4155E-06	14,06%

## f) Toxicidade Humana

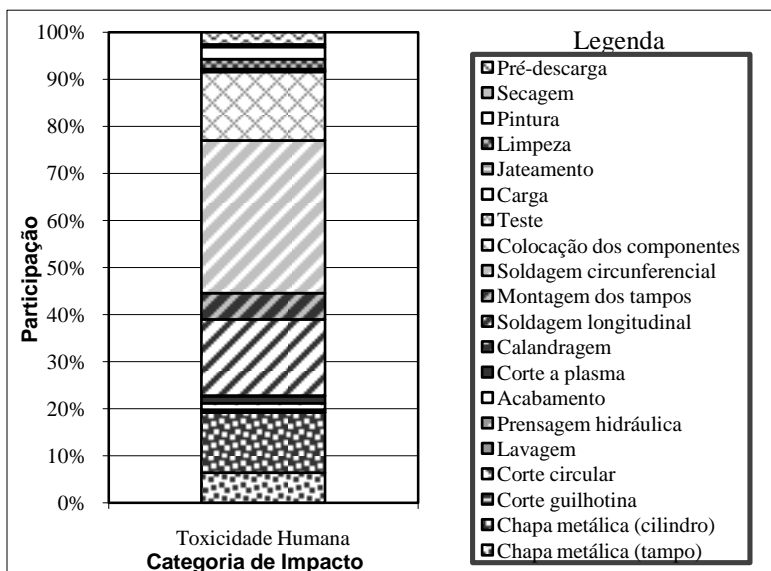


Figura 58. Percentagens de participação na categoria de impacto Toxicidade Humana dos produtos e processos

Os três principais processos de soldagem, representados na Figura 58 pela legenda de linhas diagonais (centro da coluna), são os processos que mais contribuem para a toxicidade humana. Somados, as soldagens: longitudinal, de tampos e circunferencial, totalizam aproximadamente 53 % do total do impacto. A obtenção das chapas, que em quase todas as categorias representa a maior participação de impacto, aqui contribui com apenas 18 % do total (Tabela 59).

Tabela 59. Percentagem de participação das etapas sob o aspecto de toxicidade humana.

Produtos / Processos	Valor	Participação
Chapa metálica (tampo) 1	14,71974308	6,38%
Chapa metálica (cilindro) 1	29,4394862	12,76%
Soldagem longitudinal	37,33299346	16,19%
Soldagem circunferencial	74,88661856	32,47%
Colocação dos componentes	33,58047692	14,56%

### g) Ecotoxicidade da Água Doce

Todo o processo e/ou produto influencia na totalidade da categoria Ecotoxicidade da Água Doce. Com excessão dos processos de carga, teste e calandragem que contribuem muito pouco para esta categoria. Os processos que mais contribuíram são: obtenção das chapas (equivalente a 68 % do total); colocação de componentes (13,85 % do total); acabamento (6,4 % do total) (Figura 59).

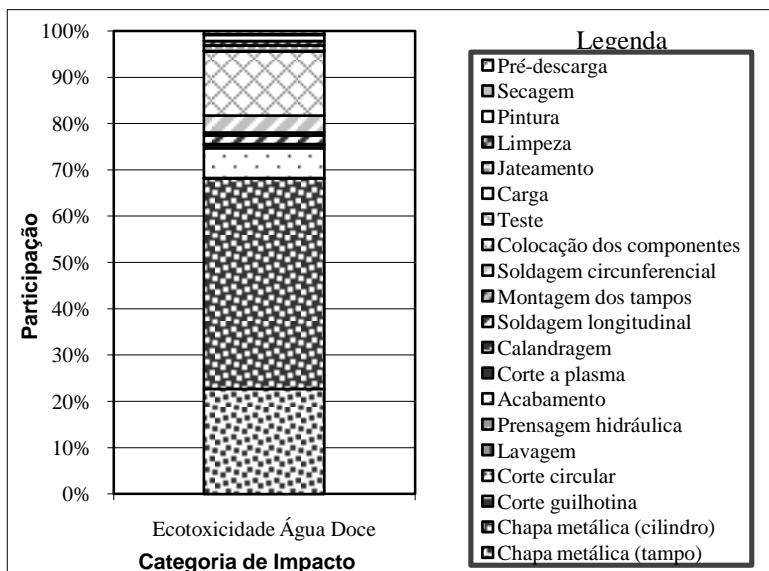


Figura 59. Porcentagem de participação na categoria de impacto Ecotoxicidade da Água Doce dos produtos e processos

### h) Ecotoxicidade Marinha

Em se tratando da categoria de impacto Ecotoxicidade Marinha, a obtenção das chapas somam aproximadamente 64 % do valor total do impacto gerado (Figura 60). Conforme a Tabela 60 podemos verificar que a colocação de componentes é o processo que mais contribui para este impacto. As demais etapas não foram apresentadas nesta tabela porque contribuem com menos do que 1%.

Figura 60. Porcentagem de participação na categoria de impacto Ecotoxicidade da Água Marinha dos produtos e processos.

Tabela 60. Participação no impacto sob aspecto de ecotoxicidade marinha.

<b>Produtos / Processos</b>	<b>Valor</b>	<b>Participação</b>
Chapa metálica (tampo) 1	13004,17402	21,47%
Chapa metálica (cilindro) 1	26008,34805	42,95%
Soldagem circunferencial	3817,874612	6,30%
Colocação dos componentes	8422,60434	13,91%

i) Ecotoxicidade Terrestre

A ecotoxicologia é quando substâncias tóxicas estão dispostas no meio ambiente, neste caso específico, no solo.

Cerca de 50 % do impacto gerado pela fabricação do reservatório provêm da retirada e beneficiamento do aço que formam as chapas e componentes. Quatro processos merecem descrição: as soldagens circunferencial e longitudinal (8,6 % e 4,3 %), soldagem de componentes (12,13 %) e acabamento dos tampos (14,8 %). As demais etapas somadas garantem 10 % do impacto, sendo que nenhuma destas etapas contribui com mais que 1,5 % (Figura 61).

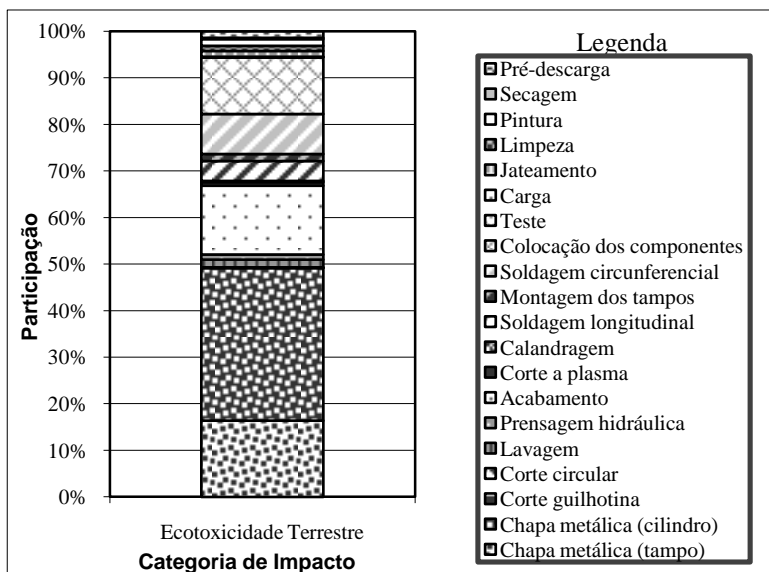


Figura 61. Porcentagem de participação na categoria de impacto Ecotoxicidade Terrestre dos produtos e processos.

#### j) Oxidação Fotoquímica

Cerca de 61 % do impacto gerado na categoria Oxidação Fotoquímica provém da obtenção e beneficiamento da matéria-prima principal (Figura 62). A etapa de colocação dos componentes, que mescla a obtenção de produtos e o processo propriamente dito corresponde a cerca de 13 % com relação a categoria de oxidação fotoquímica. As demais etapas relevantes deste sistema de produto estão demonstradas na Tabela 61.



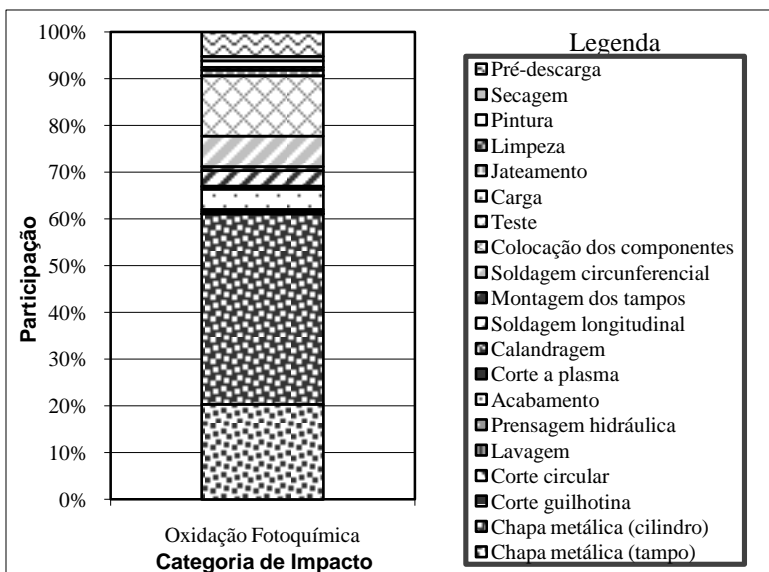


Figura 62. Porcentagem de participação na categoria de impacto Oxidação Fotoquímica dos produtos e processos.

Tabela 61. Participações sob o aspecto de oxidação fotoquímica.

<b>Produtos / Processos</b>	<b>Valor</b>	<b>Participação</b>
Chapa metálica (tampo) 1	0,018202937	20,37%
Chapa metálica (cilindro) 1	0,036405875	40,74%
Acabamento	0,003859015	4,32%
Soldagem longitudinal	0,002910809	3,26%
Soldagem circunferencial	0,005859509	6,56%
Colocação dos componentes	0,0114599	12,82%
Pré-descarga	0,004628761	5,18%

### k) Demanda Acumulada Total de Energia

Esta categoria de impacto ambiental reflete o uso de energia, seja ela de qualquer matriz energética e se ela é diretamente empregada (em um processo) ou indiretamente empregada (obtenção de uma matéria-prima).

O processo de pré descarga contribui com 14,44 % do impacto e o processo de colocação de componentes com 9,4 %. A maior parte do impacto gerado, assim como nas demais categorias,

é relacionada à obtenção e beneficiamento das chapas metálicas com 54,12 % (Figura 63).

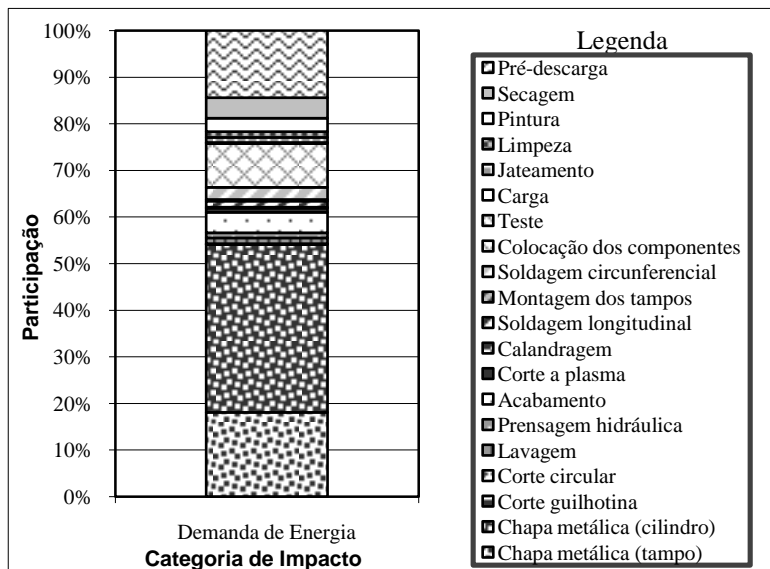


Figura 63. Porcentagem de participação na categoria de impacto Demanda de Energia dos produtos e processos.

### 1) Quantidade de Resíduos

A categoria Quantidade de resíduos reflete diretamente a geração de resíduos de cada etapa do processo de fabricação do reservatório.

O processo de corte circular, que sob as demais categorias não tinha participação significativa, torna-se um dos principais geradores de impacto para este aspecto, com 22,73 % do total (Figura 64). Os 7,7 kg de retalhos de chapa descartados nesta etapa do processo explicam esta participação elevada.

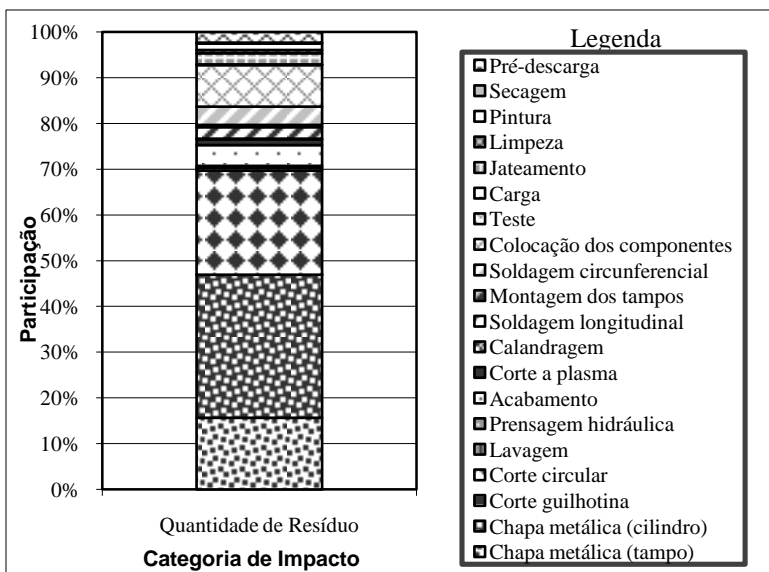


Figura 64. Porcentagem de participação na categoria de impacto Quantidade de Resíduo dos produtos e processos.

Através do método escolhido foi possível verificar a mensuração total de descartes na obtenção das chapas para esta atividade. A participação de cada etapa está descritas na Tabela 62.

Tabela 62. Categoria de quantidade gerada de resíduos. Participação dos processos no impacto final.

<b>Produto / Processo</b>	<b>Valor</b>	<b>Participação</b>
Chapa metálica (tampo) 1	5,321533848	15,65%
Chapa metálica (cilindro) 1	10,6430677	31,31%
Corte circular	7,725701519	22,73%
Acabamento	1,524405722	4,48%
Corte a plasma	0,43464074	1,28%
Soldagem longitudinal	0,853076285	2,51%
Soldagem circunferencial	1,365312861	4,02%
Colocação dos componentes	3,091664288	9,10%
Jateamento	0,833444789	2,45%
Limpeza	0,234315078	0,69%
Pintura	0,471093731	1,39%
Pré-descarga	0,777824833	2,29%

### 5.4.3. Análise de Incertezas

As variações estatísticas do valor final do impacto ambiental sob cada categoria podem ser visualizadas na Tabela 63.

Quanto maior for a variação dos valores (positivo ou negativo) no resultado final em relação aos valores medidos, menor será a especificidade dos dados coletados. Na Figura 65 verifica-se que as maiores variações específicas foram para as categorias Ecotoxicidade Terrestre, Depleção dos Recursos Abióticos, Ecotoxicidade da Água Doce, Ecotoxicidade da Água Marinha, Oxidação Fotoquímica, Toxicidade Humana e Eutrofização. Enquanto que as menores variações foram nas categorias Acidificação, Aquecimento Global, Depleção da Camada de Ozônio, Demanda Total de Energia e Quantidade de Resíduo (Figura 65).

Tabela 63. Resultado da análise de incertezas pelo programa Simapro.

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Valor Medido</b>	<b>Mediana</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>
Depleção dos Recursos Abióticos	1,42	1,22	0,776	54.6%
Acidificação	0,946	0,915	0,232	24.5%
Eutrofização	0,136	0,123	0,0589	43.3%
Aquecimento Global	165	158	50,8	30.9%
Depleção da Camada de Ozônio	0,00001	0,00000941	0,00000334	33.4%
Toxicidade Humana	231	206	112	48.7%
Ecotoxicidade da Água Doce	60	51,7	34,1	56.9%
Ecotoxicidade da Água Marinha	60200	52900	31100	51.6%
Ecotoxicidade Terrestre	3,67	3,11	2,25	61.3%
Oxidação Fotoquímica	0,0883	0,0779	0,0439	49.7%
Demanda Total de Energia	3140	2890	1270	40.4%
Quantidade de Resíduo	33,7	31,6	11,9	35.4%

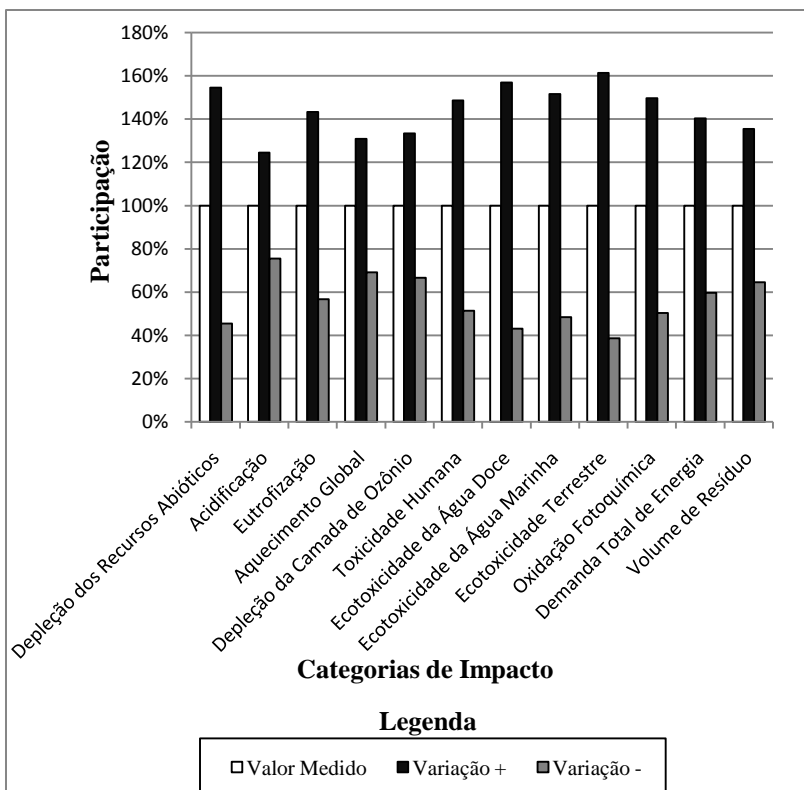


Figura 65. Variações dos valores coletados.

#### 5.4.4. Interpretação Geral

Na obtenção e beneficiamento da matéria-prima principal da fabricação do reservatório estudado, a chapa metálica foi a atividade que mais contribuiu para o impacto ambiental na maioria das categorias selecionadas. Em média, esta atividade contribuiu com 53,7 % do impacto total de todas as categorias.

Dentre os processos, o que mais tem participação do montante final é a etapa de Soldagem de Componentes com 11,6 %. No entanto, esta etapa não reflete inteiramente um processo, já que os componentes que também são contabilizados nesta

porcentagem são produtos (muitos deles da mesma composição das chapas metálicas).

A etapa de soldagem circunferencial, que considera apenas o processo e os impactos inerentes às matérias-primas principais, pode ser considerado o processo com maior participação com cerca de 7,6%. Destaque para os processos de acabamento e de pré descarga com cerca de 5 % de contribuição (Tabela 64.

Tabela 64. Participação média dos processos/produtos da fabricação do reservatório 789.

<b>Produto / Processo</b>	<b>Participação Média</b>
Chapa metálica (tampo) 1	17,8969%
Chapa metálica (cilindro) 1	35,7938%
Corte guilhotina	0,0034%
Corte circular	2,5433%
Lavagem	0,6753%
Prensagem hidráulica	0,6189%
Acabamento	5,1571%
Corte a plasma	0,9121%
Calandragem	0,2091%
Soldagem longitudinal	3,8063%
Montagem dos tampos	1,2293%
Soldagem circunferencial	7,5531%
Colocação dos componentes	11,5729%
Teste	0,0869%
Carga	0,0821%
Jateamento	1,1576%
Limpeza	1,1243%
Pintura	2,1067%
Secagem	2,5005%
Pré-descarga	4,9705%

Neste presente trabalho, o intuito, foi identificar as etapas e os processos de maior participação de impactos para o meio ambiente. Pesar e julgar qual dos aspectos ambientais possui maior importância ambiental é outro direcionamento que este estudo não abordou.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Ao finalizar a ACV do reservatório de ar estudado, verificou-se que a obtenção da matéria-prima principal foi a que mais contribuiu nas categorias de impacto estudadas, com uma participação média de 50 %.

Na seqüência está o processo de soldagem de componentes, com 11,6 % em média. Dentro deste processo existe outros produtos, como os componentes principais como pés e base. Estes são formados por chapas metálicas, sendo que a sua obtenção já é computada.

Em terceiro se encontra a soldagem circunferencial dos tampos, com 5 % de contribuição. Esta etapa pode ser considerada como um processo completo.

Para a empresa responsável pela fabricação deste reservatório, as ações devem recair primeiramente sobre os processos de soldagem/colocação de componentes e soldagem circunferencial. Uma vez que a obtenção das chapas metálicas provém de outra empresa, fora dos limites da Schulz S/A, o que dificulta a implementação de ações diretas de melhoria neste processo citado.

Recomenda-se a realização de uma simulação computacional utilizando o programa SimaPro e a mesma base de dados levantados neste estudo para criar cenários diversos de utilização de outras matérias-primas, transportes, energia, etc, buscando sempre a diminuição do impacto ambiental. Deste modo seria possível identificar melhores opções para a fabricação deste reservatório.

Seguem-se algumas sugestões iniciais acerca deste sistema de produto estudado, com o objetivo de diminuir o impacto ambiental final.

A substituição da base de madeira que entra no processo de pré descarga por uma base retornável, como de metal, por exemplo, poderia resultar em um menor impacto.

Possuir um maior controle de geração de resíduos em todo o processo de fabricação no sentido de buscar a diminuição nos pontos geradores é outra alternativa.

A substituição do transporte da matéria-prima principal, que é realizada por caminhões de grande porte que funcionam à combustão de óleo diesel, por um transporte ferroviário, também resultaria na diminuição do impacto. A relação de material transportado por energia utilizada no transporte se elevaria substancialmente.

As principais dificuldades encontradas durante a realização deste estudo residiram principalmente na etapa de coleta de dados. O início desta fase do estudo dependeu da disponibilidade e da permissão dos responsáveis de diversas áreas de dentro da empresa, o que atrasou o estudo de acordo com o cronograma inicialmente proposto.

Nas entradas do processo produtivo, o ar comprimido especificamente se mostrou de difícil levantamento, uma vez que no parque fabril ele é disponibilizado de acordo com a pressão necessária (bar), e para a entrada do programa computacional Simapro, em volume de ar utilizado ( $m^3$ ).

A ACV é um estudo que depende de um minucioso levantamento de dados, e que quando realizado com maior tempo se torna mais completo. Na seqüência deste estudo, a realização das coletas que não foram aqui consideradas, principalmente as emissões gasosas do processo produtivo e da utilização e disposição final do próprio reservatório resultarão em números mais fiéis ao impacto real que este sistema de produto representa.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro: versão digital, 2009. 21 p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 14044: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e Orientações*. Rio de Janeiro, versão digital, 2009. 46 p.

ALTHAUS, Hans-jörg; DOKA, Gabor; DONES, Roberto. *Overview And Methodology: Data v2.0*. Ecoinvent Report Nº 1 Dübendorf: Swiss Centre For Life Cycle Inventories, 2007. 77 p.

AWS AMERICAN WELDING SOCIETY (EUA). **Welding**. Disponível em: <<http://www.aws.org/w/a/>>. Acesso em: 20 abr. 2010.

BARBOSA Júnior, Afonso Frazão; MORAIS, Rafael Meira de; EMERENCIANO, Sebastião VIRGÍNIO. *Conceitos e Aplicações de Análise de Ciclo de Vida (ACV) no Brasil*. Revista Gerenciais, São Paulo, v. 1, n. 7, p.39-44, 2008. Disponível em: <<http://revistaiberoamericana.org>>. Acesso em: 07 jun. 2010.

BENEDET JÚNIOR, Gilberto. **Avaliação De Incertezas Em Inventários Do Ciclo De Vida**. 2007. 79 f. Dissertação (Pós Graduação) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

BERG, Nico W. Van Den; HUPPES, Gjal; LINDEIJER, Erwin W.. *Quality Assessment for LCA*. CML - Center Of Environmental Science. Disponível em: <<http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/quality.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2010.

BUSINESS **Dictionary** Disponível em:  
<<http://www.businessdictionary.com>>. Acesso em: 12 mar. 2010.

CATIM. **Metalopédia:** Calandragem. Disponível em:  
<<http://sites.google.com/a/catim.pt/metalopedia/conformacao/calandragem>>. Acesso em: 1 abr. 2010.

CORNEJO, L. **Tunnel Mechanical Excavation in Soft Ground and its Historical Evolution**, Geoconsult, Madrid, (1997). Disponível em  
<<http://www.geoconsult.es/fotos/publicaciones/TunnelMechanicalExcavation.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2010.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (Org.). **Qualidade do Ar: Descrição dos Poluentes**. Disponível em:  
<<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 3 jun. 2010.

CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos: Ferramenta Gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 104 p.

CYM MATERIALES S/A **Introdução Geral ao Sistema de Jateamento**. Disponível em:  
<<http://www.cym.com.ar/portugues/informes/jateamento-introducao.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2010.

DA COSTA, Ennio Cruz. **Compressores**. São Paulo: Ed. Edgar Blucher LTDA., 1978. 172 p.

DECRETO – Lei 152/1997 (19 de junho de 1997).

ELLIOTT, Brian S. **Compressed Air Operations, Manual:** The Illustrated Guide To Selection, Installation, And Maintenance. The McGraw Hill Company, EUA, 2006. Arquivo Digital

FERREIRA, José Vicente Rodrigues. **Análise de Ciclo de Vida**. Viseu: Instituto Politécnico de Viseu, 2004. 80 p.

GIMENES JUNIOR, Luiz; RAMALHO, José Pinto. **PROCESSO DE SOLDAGEM POR ARCO SUBMERSO**. Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br/default.asp>>. Acesso em: 25 mar. 2010.

GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Mapa Interativo de Santa Catarina**. Disponível em: <<http://www.mapainterativo.ciasc.gov.br/>>. Acesso em: 18 jan. 2010.

GOOGLE (EUA). **Google Maps Brasil**. Disponível em: <<http://maps.google.com.br/>>. Acesso em: 05 maio 2010.

GUINEÉ, Jeroen; GOREÉ, Marieke; HUPPES, Reinout; KLEIJN René; KONING, Arjan; OERS, Luran; SLEESWIJK, Anneke; SUH Sangwon; HAES, Helias. **Life Cycle Assessment: An Operational Guide to the ISO Standards**. Leiden (holanda): .., 2001. Disponível em: <<http://cml.leiden.edu/new-dutch-lca-guide.html>>. Acesso em: 01 fev. 2010.

GÜNTHER, Seliger. **Sustainability in Manufacturing – Recovery Of Resources in Products and Material Cycles**. Berlin – Alemanha, Spinger-Verlag Berlin Heidelberg. 2007, 419p.

GUTIERREZ, Nathalie. **A Avaliação do Ciclo de Vida do Produto (ACV)**. MEIO AMBIENTE, São Paulo p.01-04, 29 set. 2008. Disponível em: <[http://www.baumer.com.br/artigo/meio\\_ambiente.pdf](http://www.baumer.com.br/artigo/meio_ambiente.pdf)>. Acesso em: 07 abr. 2010.

IPPUJ, Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Joinville. **Dados Municipais**. Disponível em: <<http://www.mapainterativo.ciasc.gov.br/>>. Acesso em: 18 jan. 2010.

LAZZARI, Márcio et al. **A Acidificação na Avaliação de Impactos de Ciclo de Vida: Um Estudo Preliminar Entre Duas**

**Regiões de Diferentes Países Sulamericanos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DO VIDA, 1., 2008, Curitiba. Curitiba: 2008. p. 1 - 5. Disponível em: <<http://proficiens.com/artigo3.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2010.

LEME, Neusa Paes; ALVALÁ, Plínio. *A Camada de Ozônio.* Instituto Nacional de Pesquisas, 2010. Espaciais. Disponível em: <<http://www.geografia.fflch.usp.br>>. Acesso em: 03 jun. 2010.

LIMA, Erasmo. *A EVOLUÇÃO DO PLASMA.* Edição 56. Disponível em: <<http://www.guiadasiderurgia.com.br>>. Acesso em: 25 mar. 2010.

MADDEN, Reese. *Plasma Cutting Systems Combine Versatility With Efficiency.* WELDING JOURNAL, Estados Unidos, p. 01-03. abr. 2008. Disponível em: <<http://www.weldingjournal.com/>>. Acesso em: 25 mar. 2010.

MCGRAWHILL DO BRASIL, **Manual Do Ar Comprimido.** São Paulo, 1976.

*METALPLAN, Manual Do Ar Comprimido Empresa Metalplan,* arquivo digital, terceira edição 2008.

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo Villani. SOLDAGEM I: *Introdução aos Processos de Soldagem.* Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Metalúrgica, 2000. 51 p. Disponível em: <<http://wiki.ifsc.edu.br>>. Acesso em: 27 mar. 2010.

OMETTO, Aldo Roberto. *Avaliação do Ciclo de Vida do Alcool Etílico Hidratado Combustível Pelos Métodos Edip, Exergia e Emergia.* Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos-SP. Dissertação (doutorado). 2005. 209p.

PANNONI, Fábio Domingos. *AÇOS ESTRUTURAIS*. Artigo Técnico. Disponível em: <[www.axionconstrucoes.com.br](http://www.axionconstrucoes.com.br)>. Acesso em: 27 mar. 2010.

PE AMERICAS (EUA). Aluminum Association. *LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT OF ALUMINUM BEVERAGE CANS*: Final Report. Washington D.c, 2010. Disponível em: <[http://www.aluminum.org/Content/ContentFolders/LCA/LCA\\_REPORT.pdf](http://www.aluminum.org/Content/ContentFolders/LCA/LCA_REPORT.pdf)>. Acesso em: 21 maio 2010.

PEREIRA, F. Antunes. *Introdução à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)*. Arquivo digital, 2005. 34 p.

RIBEIRO, Catarina; FERREIRA José V.; PARTIDÁRIO, Paulo. *Life Cycle Assessment Of a Multi-Material Car Component*. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, Lisboa – Portugal. Artigo. 2007. 10 p.

ROYCE, Carolynn. *SimaPro 7 LCA Software*: A Powerful Life Cycle Assessment Tool . Disponível em: <<http://www.pira-international.com/SimaPro-7-LCA-Software.aspx>>. Acesso em: 17 maio 2010.

SAIC, Scientific Applications International Corporation (Org.). *Life Cycle Assessment: Principles And Practice*. Cincinnati: Office Of Research And Development, 2006. 80 p.

SCHULZ S/A (a) *Catálogo de Produtos: Compressores*. Disponível em: <<http://www.schulz.com.br/compressores/>>. Acesso em: 26 abr. 2010.

SCHULZ S/A (b). *Fundamentos da Energia Pneumática: Princípios e Aplicações*. Joinville: Schulz S/a, 2009. 54 p.

SOUSA, Sabrina Rodrigues. *Normalização De Critérios Ambientais Aplicados À Avaliação Do Ciclo De Vida*. Florianópolis, dissertação, 2008. 87 p.

US EPA (Org.). *Terms of Environment:: Glossary, Abbreviations and Acronyms* . Disponível em: <<http://www.epa.gov/OCEPAterms/tterms.html>>. Acesso em: 3 jun. 2010.

US EPA (Org.), Scientific Applications International Corporation. *Life Cycle Assessment: Principles And Practice*. Ohio, 2006. 80 p. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 08 jun. 2010.

ZENIT. *Manual do Ar Comprimido*. Ipiranga (são Paulo), 2006. 52 p.

## **8. APÊNDICE**

Apêndice I- Fluxograma completo do processo produtivo.

Apêndice II – Tabela completa de coleta de dados do processo (Sistema de fabricação do reservatório de ar).